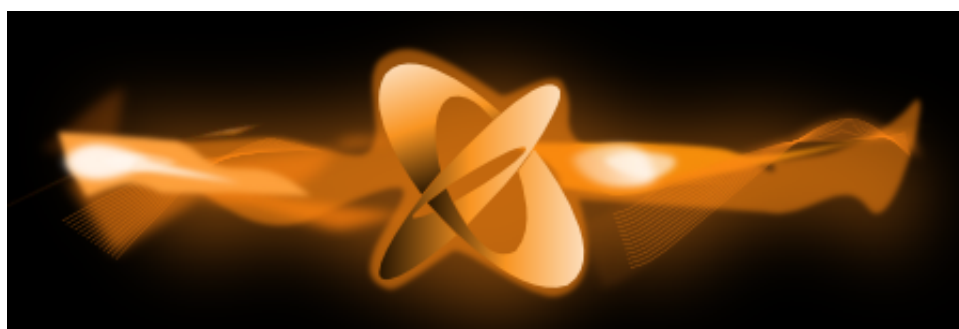
4a Edizione
Revisione:0

IperSpace Max

Manuale Utente

http://www.soft.lab.it/

4a Edizione
Febbraio 2012

Questo manuale si basa sulla **versione 4.0.0** del programma **IperSpace MAX**®.

Questo prodotto è fornito dalla Soft.Lab nella forma presente e senza alcuna garanzia, esplicita o implicita, relativa alla sua commerciabilità o all'idoneità per specifici scopi.

In nessuna circostanza Soft.Lab potrà essere ritenuta responsabile nei confronti di terzi per danni speciali, collaterali, accidentali, diretti, indiretti o consequenziali, in connessione con o derivanti dall'acquisto o dall'utilizzo di questo prodotto. Soft.Lab si fa, indipendentemente dalla circostanza, garante per un eventuale rimborso pari ad un massimo del prezzo d'acquisto del prodotto descritto.

Soft.Lab si riserva il diritto di apportare modifiche e miglioramenti al proprio prodotto quando ritenuto opportuno. Questa pubblicazione descrive lo stato del prodotto al momento della pubblicazione stessa e in nessun modo potrà riflettere il prodotto futuro.

Marchi (Trademarks)
Microsoft è un marchio registrato e **Windows**® è un marchio di Microsoft Corporation. Apple è un marchio registrato e **Mac OS X**® è un marchio di Apple Inc. MATLAB è un marchio registrato di The MathWorks, Inc. **IperSpace MAX**® e **inSide**® sono marchi della Soft.Lab srl. Se non specificato diversamente, ogni riferimento a società, nomi, dati ed indirizzi utilizzati nelle riproduzioni delle schermate e negli esempi è puramente casuale ed ha il solo scopo di illustrare l'uso del prodotto.

Storia delle revisioni:	**Edizione**	**Revisione**	**Data di stampa**
	4	0	Febbraio 2012

Ringraziamenti

La Soft.Lab si complimenta e La ringrazia per aver scelto il prodotto **IperSpace MAX®**, essendo certa che sia all'altezza delle Sue aspettative e costituisca un eccellente strumento che si affianchi al Suo lavoro quotidiano.

Le ricordiamo che, in caso di problemi nell'utilizzo e/o installazione del prodotto, è disponibile un valido servizio di assistenza le cui modalità di erogazione sono riportate nella licenza d'uso allegata al prodotto.

Un ringraziamento particolare va a tutti gli utenti che, con le loro osservazioni e suggerimenti, hanno contribuito, e contribuiscono costantemente, alla crescita e al miglioramento del prodotto.

Si coglie l'occasione, altresì, per ringraziare i rivenditori e i responsabili della rete di vendita, dislocati sul territorio nazionale, per il supporto dato al prodotto **IperSpace MAX®**.

Un ringraziamento particolare va al Prof. Ing. Paolo Bisegna, della Università degli Studi di Roma Tor Vergata, per la proficua collaborazione allo sviluppo del solutore **Space Solver**.

Buon lavoro.

Indice

III Tutorial

IV Appendici

Elenco degli esempi

Prefazione

Simbologia delle note

In questo manuale si farà uso di alcune icone che hanno un significato preciso. Nella tabella 1 sono rappresentati i simboli con i corrispondenti significati e descrizioni.

Tabella 1 – Simbologia delle note e significato

Icona	Significato	Descrizione
	Suggerimento	Mostra un appunto, solitamente breve, che illustra un aspetto interessante ma poco evidente
	Annotazione	Riporta un'annotazione per dettagliare un aspetto relativo a parte del testo precedente
	Annotazione importante	Evidenzia un'annotazione importante da mettere in particolare rilievo
	Avvertimento	Evidenzia una problematica potenziale, cui si potrebbe andare incontro, se venissero intraprese particolari azioni
	Cautela	Mette in allarme riguardo ad azioni che potrebbero avere conseguenze irreversibili come la perdita di dati

Convenzioni tipografiche

Per comprendere al meglio il significato di alcuni stili adoperati in questo manuale si riportano le convenzioni tipografiche utilizzate relativamente a procedure o comandi.

Tabella 2 – Convenzioni tipografiche e significato

Esempio	Descrizione
Shift ⇑	Tasto del PC o bottone generico. Indica un tasto del computer o un bottone appartenente ad una procedura esterna all'interfaccia del programma.
Ripeti	Bottone di interfaccia di **IperSpace MAX**®. Indica un bottone appartenente all'interfaccia del programma.
Ripeti	Bottone di interfaccia di **IperSpace MAX**® con stato evidenziato. Indica un bottone attivo dell'interfaccia del programma.
Lunghezza	Etichetta di interfaccia di **IperSpace MAX**®. Rappresenta una descrizione relativa ad un controllo di interfaccia.
10.45	Valore di input utente. Indica un dato da inserire in un campo di editing dell'interfaccia.
`c:\windows\system32`	Percorso di filesystem. Descrive il percorso gerarchico per la posizione di un file e/o cartella.
Ctrl + n	Shortcut generico. Visualizza la combinazione di tasti per una scorciatoia da tastiera.
Alt + f + n	Acceleratore voce di menu. Visualizza la combinazione di tasti per evocare un comando.
Crea ⊳ Pilastro	Percorso di voce di menu. Esplicita la posizione di una voce di menu con notazione gerarchica.

Parte I

Manuale Teorico

1 Introduzione

Lo sviluppo di un programma efficiente per le analisi delle strutture richiede la conoscenza di tre discipline scientifiche: la *meccanica delle strutture*, l'*analisi numerica* e la *programmazione*.

L'implementazione di elementi strutturali funzionali richiede una moderna conoscenza della meccanica delle strutture. L'efficienza del software dipende maggiormente dalle tecniche numeriche impiegate e dalla loro corretta implementazione oltre che da una veloce allocazione dei dati sulla memoria di massa del computer.

Un aspetto molto importante di un programma di calcolo è la facilità di essere modificato, ampliato e aggiornato in quanto un software diventa obsoleto dopo qualche tempo dalla sua produzione. Ciò è dovuto alla implementazione di nuovi elementi strutturali, alla disponibilità di migliori tecniche numeriche o di computer di nuova generazione e soprattutto alle modifiche delle normative di settore.

IperSpace® propone un motore di calcolo proprietario, **Space Solver**, sviluppato con il supporto della piattaforma **MATLAB**®, appositamente implementato da una prestigiosa università italiana ed è scritto in un linguaggio ad oggetti molto efficiente.

Il solutore può analizzare strutture molto complesse senza perdere di efficienza per le strutture più semplici; i limiti dipendono solo dall'archivio dati disponibile. Inoltre c'è la possibilità di eseguire l'analisi di più strutture in contemporanea, purché nessuna di esse sia labile.

1.1 Elementi strutturali

Il sistema strutturale da analizzare può essere composto dalla combinazione di differenti elementi.

Si possono utilizzare contemporaneamente i seguenti tipi di elementi:

- elemento *Beam* per discretizzare travi, pilastri e, scegliendo degli opportuni vincoli, pendoli; fa riferimento al *centro di taglio* e non al baricentro, dunque, per pilastri e travi ad "L" o "C", il solutore,

considera anche effetti torsionali, che normalmente i solutori tipo *SAP*, non prendono in considerazione.

- elemento *Wink* per discretizzare travi su suolo elastico alla *Winkler*.
- elemento *Plate-Shell*, o semplicemente *Shell*, per discretizzare muri verticali, piastre, membrane, ecc.
- elemento *Shell-Wink* per discretizzare platee.
- elemento *Read-Matrix* che permette di sostituire ad un elemento la sua matrice di rigidezza equivalente: è il caso degli *isolatori sismici*, o dei plinti su pali o pali isolati immersi in un semispazio elastico.

Questi elementi strutturali possono essere adoperati sia nell'analisi statica che in quella dinamica.

1.2 Analisi

I tempi di elaborazione dipendono principalmente dal numero di nodi, dal numero di autovalori da prendere in considerazione e dal computer usato. Non ci sono limiti al numero di elementi usati, né al numero di nodi. Ogni nodo della struttura può avere da zero a sei gradi di libertà.

La formazione delle matrici della struttura viene ottenuta allo stesso modo sia nell'analisi statica che in quella dinamica. L'analisi statica viene compiuta risolvendo il sistema di equazioni di equilibrio e successivamente il calcolo delle sollecitazioni negli elementi. Nell'analisi dinamica la scelta è tra:

- Calcolo delle frequenze seguito da un'analisi di risposta spettrale, in termini di accelerazione.
- Analisi di risposta temporale usando l'integrazione diretta (*direct step by step integration*) non ancora attivata.
- Equazioni di equilibrio per il complesso strutturale.

L'equilibrio della struttura discretizzata è retto da un sistema di equazioni differenziali lineari avente la seguente forma:

$$M \cdot u'' + C \cdot u' + K \cdot u = R \tag{1.1}$$

dove:
M è la matrice delle masse
C è la matrice di smorzamento
K è la matrice delle rigidezze
u'', u', u e R sono rispettivamente i vettori accelerazioni, velocità, spostamenti e carichi generalizzati nodali.

La matrice della struttura viene ottenuta sommando semplicemente le matrici dei singoli elementi in coordinate globali; per esempio:

$$K = \sum K_m$$

dove K_m è la matrice di rigidezza dell'emmesimo elemento. Sebbene K_m abbia lo stesso ordine di K, solo gli elementi di K_m relativi a gradi di libertà dell'elemento emmesimo hanno valore diverso da zero.

1.3 Condizioni al contorno

Se una componente di spostamento è zero la corrispondente equazione nel sistema (1.1) viene eliminata.

Se invece è applicato uno spostamento, la rispettiva equazione di equilibrio viene sostituita da una equazione di congruenza del tipo $u_i = x$, più in generale è possibile applicare una "matrice di vincolo" a monte della soluzione. Siano $q_1, q_2, \ldots, q_n$ le incognite del problema senza vincoli al contorno, si supponga che tra alcune incognite del problema esista una relazione di dipendenza del tipo:

$$q_k = \sum_l \beta_{kl} q_l + c_k \qquad l = l_1, ..., l_m$$

dove q_k è la variabile dipendente, q_l la generica variabile indipendente e c_k un valore noto e fisso nel tempo (ad esempio nel caso di un *grado di libertà* bloccato l'equazione potrebbe essere $q_k = 0$, nel caso di uno spostamento imposto $q_k = \delta$).

In generale quindi è possibile esprimere le incognite attraverso una relazione matriciale del tipo:

$$Q = BQ_1 + C \tag{1.2}$$

dove Q_1 è il vettore delle incognite indipendenti, C il vettore dei termini noti, l'energia totale del sistema si scrive:

$$E_T = \frac{1}{2}Q^T KQ + \frac{1}{2}\dot{Q}^T M\dot{Q} - R^T Q \tag{1.3}$$

in cui il punto indica la derivata rispetto al tempo, l'apice T la trasposta e R il vettore delle forze nodali equivalenti; sostituendo l'espressione (1.2) nella (1.3) e tenendo conto della simmetria di K si ottiene:

$$E_T = \frac{1}{2}Q_1^T B^T KBQ + \frac{1}{2}\dot{Q}_1^T B^T MB\dot{Q} - (R^T B - C^T KB)Q_1 + \frac{1}{2}C^T KC - R^T C$$

che fondamentalmente è simile alla (1.3) e da cui si ricava la nuova matrice delle rigidezze, delle masse e delle forze equivalenti. Il minimo di tale energia corrisponde alla soluzione del sistema di equazioni differenziale lineare del tipo (1.1); noto che sia Q_1 dalla (1.2) si ricava Q. È

da notare che alcune tipologie di legami non consentono, a valle della soluzione, di ottenere le sollecitazioni all'interno di taluni elementi. Per esempio, con le relazioni di tipo (1.2) è possibile schematizzare la inestensibilità assiale delle aste ma per i pilastri si avrebbero sforzi assiali nulli e bisognerebbe ricavarli attraverso equazioni di equilibrio nei nodi e questo è possibile solo per nodi in cui converge un solo elemento con sforzi incogniti.

Al momento un limite di tale approccio è che i cedimenti sono applicati per tutte le condizioni, in quanto le matrici vengono determinate, prima della soluzione, a cascata per tutte le condizioni di carico unitarie.

Il solutore **Space Solver** ha modificato completamente la gestione dei calcoli di **IperSpace**®.

Ad esempio, è possibile eseguire calcoli con condizioni al contorno diverse, combinazioni diverse, purché il numero e tipo di elementi restino invariati.

Il calcolo sismico classico della struttura si basa su modelli diversi della struttura e precisamente:

1. Un modello con l'amplificazione delle rigidezza assiale dei pilastri per i soli carichi verticali;
2. Un modello senza l'amplificazione della rigidezza assiale per i calcoli sismici (analisi statica o modale);
3. Un modello senza gli impalcati rigidi per un eventuale calcolo termico.

Al termine di ogni calcolo vengono archiviate le sollecitazioni e gli spostamenti nei vari punti delle aste e degli shell per ogni condizione di carico. I risultati del calcolo della struttura vengono archiviati combinando le sollecitazioni e gli spostamenti relativi ad ogni combinazione di carico.

Di conseguenza il calcolo globale potrebbe impiegare un pò più di tempo rispetto a quello eseguito con il solutore precedente, ma le verifiche e altre informazioni saranno più veloci non dovendo ricalcolare le sollecitazioni, punto per punto, ma solo leggerle dall'archivio.

Inoltre è possibile modificare i parametri di combinazione delle varie condizioni di carico senza rieseguire il calcolo vero e proprio ottenendo i risultati di un nuovo calcolo.

Ne consegue che, per una medesima struttura, è possibile avere archiviati più calcoli. Dunque quando si carica una struttura già calcolata per esaminare i risultati bisognerà scegliere il calcolo desiderato.

1.4 Altre analisi

Space Solver consente di eseguire, oltre alle analisi classiche: statica, modale, ecc., anche analisi diverse che facilitano la soluzione dei problemi strutturali:

- Analisi delle masse eccitate prima di eseguire il calcolo vero e proprio per evitare troppe perdite di tempo;
- Analisi cinematica che consente di determinare eventuali cinematismi strutturali e quindi le relative labilità;
- Analisi di Buckling;
- Analisi $P - \Delta$.

Consente ancora:

- di tener conto di un ΔT sulle aste sia nel piano xz che xy e delle precompressioni anche eccentriche rispetto agli assi locali y e z;
- di tener conto di un ΔT sui muri e delle precompressioni nel piano del muro secondo gli assi locali x ed y;
- di considerare come centro di rotazione delle sezioni il centro di taglio e non il baricentro;
- di considerare le molle di Winkler distribuite in modo superficiale e non lineare sotto le travi di fondazione;
- di considerare le traslazioni degli shell in tutte le direzioni rispetto ai nodi;
- di determinare e visualizzare le ellissi di rigidezza ai vari piani della struttura.

A tal proposito vi è da osservare che i *centri di rigidezza* (e non i baricentri di rigidezza) assumono un significato diverso a seconda di come vengono calcolati. Il concetto usuale di baricentro delle rigidezze è applicabile solo nel caso di un impalcato con elementi verticali che possano essere schematizzati come molle applicate all'impalcato rigido.

L'idea che si è voluta seguire è quella di determinare impalcato per impalcato il punto per cui dovrebbe passare una forza orizzontale affinché tutti gli impalcati subiscano solo una traslazione; in generale per conseguire una corretta progettazione, si dovrebbe cercare di ridurre al minimo la distanza tra questo punto e il baricentro delle masse dell'impalcato.

Ciò al fine di ridurre al minimo gli effetti torsionali (questo in realtà è impossibile in quanto la norma prescrive di considerare diverse eccentricità delle masse e quindi la distanza minima si può conseguire per una sola posizione delle masse). In base a questa scelta per una struttura con sezione a "C", costituita da pareti, si osserva che il centro di rigidezza è esterno alla sezione e assume più un significato di centro di taglio di una sezione.

2 Note sulla nuova normativa

2.1 Verifica agli stati limiti

1. Con la nuova normativa il calcolo deve essere quasi sempre dinamico in quanto l'analisi statica è possibile solo per strutture regolari nelle due direzioni, cosa che si verifica solo raramente.

2. Il calcolo va eseguito tre volte, prima allo *stato limite ultimo (SLU)* per la verifica ed il calcolo delle armature della struttura in elevazione, poi allo *stato limite di danno (SLD)* per la verifica degli spostamenti d'impalcato e degli SLE della struttura in elevazione; e infine il calcolo agli SLU con lo spettro (Q=1) che serve come controllo sulle sollecitazioni da applicare alle fondazioni.

Dalla versione 3.0 quest'ultimo calcolo può essere omesso in quanto è possibile progettare le strutture di fondazione specificando a monte della verifica di quanto si vogliono incrementare le sollecitazioni da applicare agli elementi che l'utente ritiene facenti parte della fondazione.

1. Lo spettro a *limite ultimo* si ottiene riducendo quello a limite elastico per un fattore q, detto *fattore di struttura*. Ciò è possibile solo se viene applicata la gerarchia delle resistenze altrimenti il calcolo deve essere eseguito con lo spettro elastico avendo quindi strutture poco duttili, ma molto resistenti

2. Il fattore q dipende tra l'altro dalla classe di duttilità e dalla regolarità strutturale in altezza.

Con strutture non regolari in altezza si ha un incremento del sisma pari al 25 %. Purtroppo la verifica di questa regolarità può essere effettuata solo dopo il disegno delle armature ed è molto difficile verificarla. Conviene quindi che l'utente presupponga comunque la non regolarità in altezza.

Con strutture a bassa duttilità l'incremento del sisma è 1/0.7=43% circa. Sarebbe auspicabile quindi avere strutture ad alta duttilità, ma queste ultime hanno limitazioni negli elementi strutturali; non sarebbe possibile ad esempio usare travi a spessore di solaio a meno che queste ultime non siano considerate come elementi secondari, inoltre le travi sono piene di staffe.

Sia in *CDA* (alta duttilità) che in *CDB* (bassa duttilità) bisogna verificare per travi e pilastri la *gerarchia delle resistenze*. Cioè l'armatura dei pilastri non dipende dalle sollecitazioni di calcolo, ma dai momenti ultimi delle travi e quindi dalla loro armatura. Ora per un pilastro rettangolare è abbastanza difficile verificare la gerarchia delle resistenze nella direzione *debole*. Ci si aspettano quindi molte armature sul lato lungo del pilastro. Potrebbero essere convenienti pilastri ugualmente resistenti nelle due direzioni, quindi con sezione quadrata o circolare.

Quindi le scelte possibili sono due:

1. Strutture duttili (minor sisma) quindi più snelle;

2. Strutture rigide (maggior sisma) quindi maggior resistenza della struttura.

In definitiva la scelta obbligata è: costruire strutture duttili o costruire strutture resistenti.

Per fabbricati alti (almeno per quelli il cui periodo di vibrazione supera 1.5 sec) potremmo infischiarcene di realizzare fabbricati duttili e regolari in altezza in quanto la normativa non consente per lo spettro a limite ultimo valori minori di 0.2Ag. Sembrerebbe quindi che i requisiti di regolarità e duttilità siano una caratteristica dei fabbricati intermedi.

Si può concludere che le armature generate secondo la *Nuova Normativa* sono piuttosto rilevanti rispetto a quelle generate secondo il DM 96 per le seguenti quattro concause:

- accelerazione sismica elevata

- eccentricità aggiuntiva del 5%

- sollecitazioni di verifica che tengono conto contemporaneamente del sisma in direzione x e del sisma in direzione y

- *Gerarchia delle resistenze*; le staffe delle travi dipendono anche dalle armature longitudinali e le armature dei pilastri dipendono anche dalle armature delle travi.

3 Libreria di elementi finiti

Gli elementi finiti attualmente utilizzati da **IperSpace MAX®** sono quelli indicati nella [Introduzione], § 1 a pagina 5, che comunque si riducono essenzialmente a quelli che seguono.

3.1 Beam

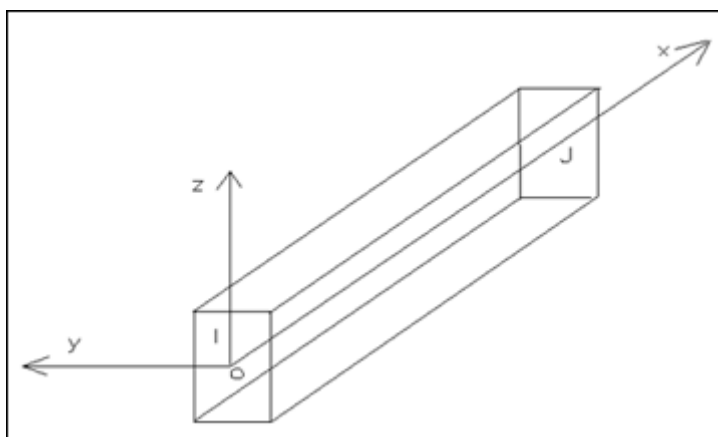



Figura 3.1 – Riferimenti locali per l'elemento beam

L'elemento beam è un elemento tridimensionale in cui una dimensione predomina sulle altre due. Prende in considerazione deformazioni torsionali, flettenti intorno ai due assi, assiali e taglianti. Ha in generale tutti i sei gradi di libertà dei nodi. Supporta carichi inerziali nelle tre direzioni e forze d'incastro perfetto per introdurre l'effetto flettente e tagliante dei carichi distribuiti sullo stesso.

In uscita sono presenti agli estremi dell'elemento, in coordinate locali, le sollecitazioni assiali, taglianti, torcenti e flettenti. L'elemento è prismatico, vedi fig. 3.1, a sezione generica e viene concentrato sul suo asse, mentre il comportamento inerziale della sezione è tenuto in conto determinando l'orientamento del piano i, j, k che definisce il piano degli assi principali dell'elemento.

Per effettuare questo orientamento, **IperSpace MAX®**, sceglie il nodo K tra i nodi strutturali in modo da non introdurre gradi di libertà addizionali per il calcolo. Le coordinate locali per l'elemento beam sono: l'asse dell'elemento coincide con l'asse 1 o asse x, mentre gli assi principali d'inerzia della sezione coincidono con gli assi 2 e 3 o y e z.

Gli assi x, y e z visualizzati nel modellatore non sono in genere quelli principali d'inerzia, ma dei riferimenti per un uso più comodo degli elementi per l'introduzione dei carichi; in fase di postprocessing tutte le sollecitazioni sono riferite a tali assi, mentre in fase di calcolo vengono effettuate le opportune trasformazioni per ridurre il riferimento a quello principale.

L'elemento è vincolato, per sua natura, ai nodi in cui concorre a mezzo di un incastro interno. Cioè la sezione terminale dell'elemento è vincolata ai sei gradi di libertà del nodo. È possibile svincolare alcuni gradi di libertà dell'elemento nel riferimento locale con l'accortezza di non svincolare, per entrambi gli estremi, i gradi di libertà di rotazione intorno all'asse x locale, oppure due corrispondenti gradi di libertà di traslazione ad entrambi i nodi.

IperSpace MAX® prende in considerazione l'opzione "rigid beam offset" con cui si può tenere conto della eccentricità tra l'asse dell'elemento e la congiungente i nodi.

IperSpace MAX® può, a scelta dell'utente, prendere in considerazione la deformabilità a taglio dell'elemento beam determinando l'area di taglio nelle direzioni 2 e 3 in modo automatico per le usuali sezioni (rettangolari, a "T", a "L", circolari, ecc.), o dividendo l'area della sezione per il rispettivo fattore di taglio χ_2, χ_3, letto dall'archivio delle sezioni nel caso di sezioni generiche. Occorre fornire inoltre il momento d'inerzia torsionale, nel caso in cui le caratteristiche geometriche vengano lette da un archivio, mentre nel caso di sezioni usuali il programma lo calcola in modo automatico.

L'opzione "master-slave" è stata esclusa dal programma in quanto si è preferito tener conto dei diaframmi rigidi dei solai con elementi shell.

3.2 Thin plate & shell

L'elemento plate-shell è un quadrilatero di geometria arbitraria formato internamente da quattro triangoli compatibili. Il plate-shell è molto usato per risolvere i gusci spaziali e le piastre inflesse. È un elemento molto evoluto in quanto presenta le seguenti particolarità:

1. Disassamento rispetto ai nodi.

2. Rigidezza torsionale effettiva (funzione dello spessore e del modulo G).

3. Comportamento membranale molto corretto anche con piccola discretizzazione.

4. Materiale isotropo e/o ortotropo.

3.2.1 Riferimento locale per lo shell

Il riferimento locale dell'elemento finito è definito in modo del tutto arbitrario attraverso un vettore di riferimento diretto nel suo piano; l'asse z è ortogonale al piano dello shell l'asse x ortogonale a z e al vettore di riferimento, l'asse y tale che X, Y e Z formi una terna levogira, inoltre per materiali ortotropi è definita la direzione di ortotropia nel piano xy attraverso un angolo θ.

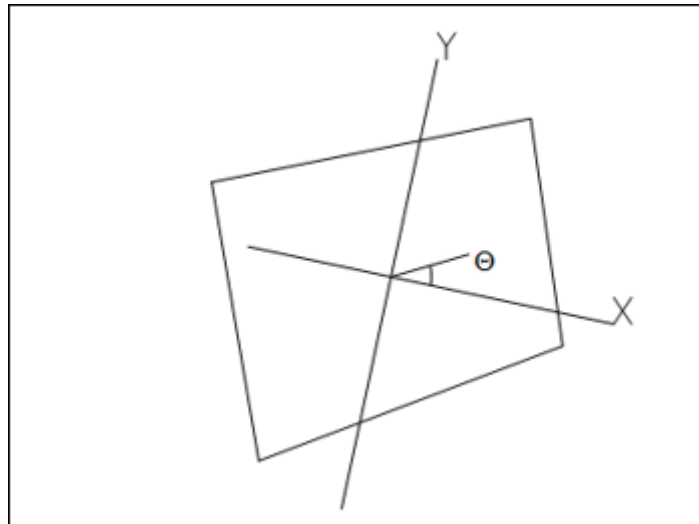



Figura 3.2 – Riferimenti locali per l'elemento shell

Con tale possibilità risulta che il riferimento del singolo shell, in cui viene discretizzato il macro shell, coincide con quello di quest'ultimo e dunque le sollecitazioni che l'utente legge sono congruenti con il riferimento che osserva nel modellatore.

Le sollecitazioni dell'elemento, schematizzate in figura 3.3 nella pagina seguente, sono:

a) sforzi membranali

- $S_{xx} = \sigma_x$
- $S_{yy} = \sigma_y$
- $S_{xy} = \tau_{xy}$

b) sforzi flessionali

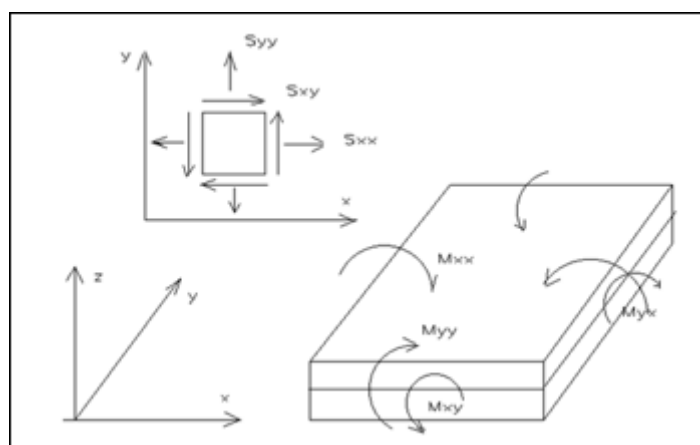
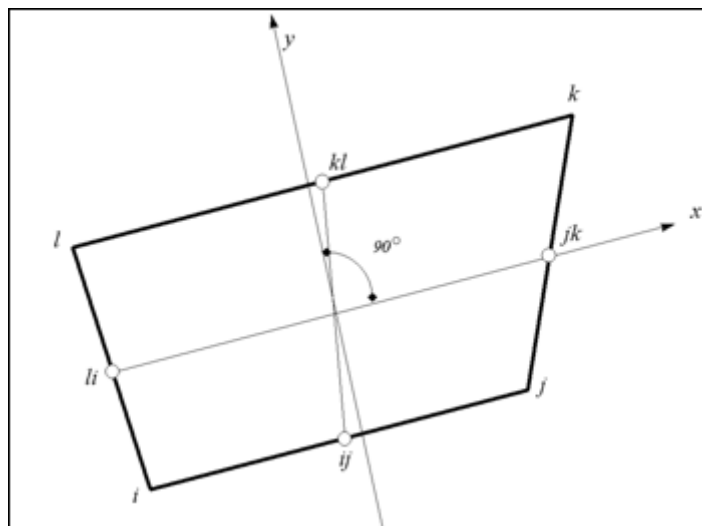



Figura 3.3 – Sollecitazioni nell'elemento shell

- M_{xx} momento flettente che genera σ_x, cioè intorno ad y.
- M_{yy} momento flettente che genera σ_y, cioè intorno ad x.
- M_{xy} momento torcente che genera τ_{xy}.

c) in corrispondenza dei nodi dell'elemento sono presenti anche dei momenti *torcenti* M_z in equilibrio con le tensioni interne dell'elemento.

Quest'ultimi non vengono usati direttamente nella verifica ma sono delle azioni che modificano le sollecitazioni interne. La presenza di questa rigidezza consente di collegare elementi beam nel piano del muro senza ottenere l'effetto cerniera che si ha con il classico elemento shell per il quale nel passato occorreva prolungare all'interno dello stesso l'elemento beam.

Le sollecitazioni principali dell'elemento sono così definite:

$$M_{1,2} = \frac{M_{xx} + M_{yy}}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{M_{xx} - M_{yy}}{2}\right)^2 + M_{xy}^2}$$

$$S_{1,2} = \frac{S_{xx} + S_{yy}}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{S_{xx} - S_{yy}}{2}\right)^2 + S_{xy}^2}$$

$$tg2\theta = \frac{M_{xy}}{M_{xx} - M_{yy}}$$

dove θ è l'angolo formato dagli assi principali di M_1 e M_2 con quelli di riferimento e:

$$tg2\psi = \frac{S_{xy}}{S_{xx} - S_{yy}}$$

dove ψ è l'angolo formato dagli assi principali di S_1 e S_2 con quelli di riferimento.

$$M_{xx} = \int \sigma_x dz$$

$$M_{yy} = \int \sigma_y dz$$

$$M_{xy} = \int \tau_{xy} dz$$

Se con t si indica lo spessore dell'elemento:

$$M_{xx} \text{ genera } \sigma_x = \frac{6M_{xx}}{t^2}$$

$$M_{yy} \text{ genera } \sigma_y = \frac{6M_{yy}}{t^2}$$

$$M_{xy} \text{ genera } \tau_{xy} = \frac{6M_{xy}}{t^2}$$

L'elemento shell usato come piastra dà i momenti flettenti e non i tagli in direzione ortogonale all'elemento che possono ottenersi come derivazione dei momenti flettenti:

$$T_{zx} = \frac{\partial M_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial M_{xy}}{\partial x}$$
$$T_{zy} = \frac{\partial M_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial M_{yy}}{\partial y}$$

Quando invece viene usato come lastra restituisce una σ costante ed una τ costante non adatti a rappresentare momenti flettenti, ma solo sforzi normali e tagli nel piano della lastra.

3.3 Boundary

L'elemento boundary è stato abbandonato, potendo essere schematizzato con un elemento beam con opportuni svincoli interni o con l'elemento *isolatore* che dal punto di vista degli elementi finiti è un insieme di 6 molle.

3.4 Wink (beam su suolo alla Winkler)

Questo elemento presenta una rigidezza flessionale intorno all'asse locale y, una rigidezza tagliante secondo l'asse locale z e una rigidezza torsionale intorno all'asse dell'elemento (x locale). L'elemento è vincolato al suolo mediante un vincolo elastico continuo a comportamento lineare. Il vincolo elastico simula il comportamento del modello del suolo secondo Winkler. Questo elemento deve essere necessariamente orizzontale.

Essendo la rigidezza assiale dell'elemento nulla, così come la rigidezza flessionale intorno all'asse z locale o Z globale (infatti sia l'asse z locale che quello globale hanno la stessa retta di azione verticale), i nodi a cui sono collegati devono essere vincolati alle due traslazioni orizzontali X e Y e alla rotazione intorno all'asse Z, altrimenti la matrice di rigidezza dell'elemento risulta non definita positiva.

Dall'abbassamento z dei vari punti dell'elemento si può risalire alla pressione sul terreno p data da: $p = k\,z$, dove k è la costante di sottofondo. L'elemento tiene conto del fatto che il letto di molle non è concentrato lungo l'asse dell'elemento, ma distribuito su un'area centrata sull'asse, ciò consente di aumentare la rigidezza torsionale dell'elemento in quanto le molle si oppongono ad una rotazione dell'asse della trave.

3.5 Platea

L'elemento platea non è altro che l'elemento [Thin plate & shell], § 3.2 a pagina 14 su suolo alla Winkler. Anche questo elemento deve essere necessariamente orizzontale. Anche per esso i nodi devono essere vincolati

alla Winkler, cioè devono essere bloccate le traslazioni in direzione X e in direzione Y e la rotazione intorno a Z.

3.6 Read-in matrix

L'elemento read-in matrix permette di aggiungere direttamente dall'esterno alla matrice di rigidezza del sistema risolvente delle matrici di rigidezza precalcolate. Esempio tipico sono i dati di un isolatore, o plinti diretti, plinti su pali e pali immersi in un semi-spazio elastico multistrato.

4 Elementi strutturali

4.1 Generalità

Una qualsiasi struttura di **IperSpace MAX**® è costituita dai seguenti elementi strutturali, che non sempre sono tutti presenti:

- Aste
- Solai
- Isolatori
- Muri
- Plinti
- Pali singoli

tali elementi strutturali sono collegati tra loro mediante nodi.

4.2 Aste

Le aste hanno una sezione ed una tipologia; quest'ultima dipende dalla particolare funzione dell'asta nella struttura.

Le sezioni delle aste possono essere definite con l'apposito comando in modo molto semplice, ma nel caso di sezioni in acciaio conviene caricarle direttamente dal relativo archivio, già definito ed ampliabile dall'utente.

In questo *database* sono state inserite le più usuali sezioni in acciaio tipo *HE*, *NP*, *IPE*, ecc.

Per l'inserimento delle sezioni in archivio, nel caso di aste in c.a. e tipo di sezione geometrico ben definito (rettangolare, a "T", a "L", o circolare) basta fornire le dimensioni, mentre per le sezioni generiche vanno fornite le caratteristiche geometriche (area, momenti d'inerzia, ecc.).

Nel caso di sezioni in acciaio di tipo definito (rettangolare e circolare) vanno definiti i vari parametri: area, inerzie, moduli di resistenza e raggi di inerzia per poter eseguire le verifiche.

Per le sezioni del legno basta fornire le sole dimensioni.

Per le sezioni in acciaio, ad es. *IPE 140*, i dati vanno forniti nell'ordine in cui si trovano nel caso di travi o di pilastri con la base parallela all'asse y locale (asse X globale se il pilastro non è ruotato), mentre nel caso di travi e pilastri per i quali il profilato ha la base parallela all'asse z locale, alla sezione va applicata una rotazione di 90°.

Per definire completamente una sezione generica bisogna fornire anche l'inerzia torsionale I_t e i fattori di taglio (approssimativamente come rapporto dell'area dell'intera sezione e quella dell'anima, considerata a tutta altezza) secondo i due assi principali e infine l'ingombro. Per un calcolo rigoroso delle proprietà è possibile adoperare il plugin [SPC], § 16.4.1 a pagina 191.

*Si precisa comunque che gli assi $x - x$ e $y - y$ di una sezione, in **IperSpace MAX®** diventano rispettivamente y e z locali coincidendo l'asse locale x con l'asse dell'asta.*

4.2.1 Tipologie di aste

Sono previste cinque tipologie di aste:

- Generiche
- Travi
- Pilastri
- Travi Winkler
- Travi di non strutturale

Se un solaio scarica su una trave di tipo "non strutturale" tutto il suo carico passa sulla trave opposta (ad esempio per far scaricare totalmente un solaio-balcone sulla trave reale basta chiudere la maglia del solaio con una trave di tipo "non strutturale" sul lato opposto alla trave caricata).

Le aste di tipo "non strutturale" sono solo e soltanto quelle che si trovano alla estremità di un balcone e non quelle parallele al solaio; pertanto le aste che sono parallele al solaio non devono essere mai aste di tipo "non strutturale". Dunque le aste che collegano due pilastri senza essere caricate da solai o quelle che collegano due plinti devono essere di tipo "travi".

Le travi non strutturali potrebbero risultare superflue con l'introduzione dell'elemento non strutturale [Sbalzo], § 19.2.18 a pagina 281.

Si precisa che la tipologia "generica" va assegnata alle aste che non sono né verticali (Pilastri), né orizzontali (Travi), come travi di tetto o scale: però è possibile forzare per queste aste la tipologia per farsì che vengano verificate come travi o pilastri a scelta dell'utente.

4.2.2 Nota sul disegno delle aste

Qualora non si desiderasse verificare e disegnare le aste che hanno una certa sezione, si operi come segue:

1. selezionare tutte le aste di quella sezione con il "Seleziona per proprietà".
2. in modifica proprietà eliminare il Criterio di verifica.

4.2.3 Nota sugli sbalzi

4.2.3.1 Fondazione

Gli sbalzi di fondazione devono avere anche i nodi estremi così come tutti i nodi di fondazione, vincolati alla Winkler, altrimenti l'analisi dinamica non funziona.

4.2.3.2 Balconi

Le aste parallele al solaio balcone devono avere una sezione finita e cioè 10x20, 10x22 e così via in funzione dell'altezza del solaio, altrimenti l'analisi dinamica non funziona o dà risultati errati. Per evitare di far verificare e disegnare queste travi basta seguire le indicazioni contenute nella nota precedente. La trave non strutturale che sta alla punta del balcone può avere "sezione nulla". Nel caso che anche a questa si assegni una sezione finita, se non si vuole farla disegnare operare come prima chiarito.

4.3 Fili fissi

Quando si disegna un pilastro si sceglie un punto d'inserimento che rappresenta il filo fisso del pilastro e che una volta disegnato il pilastro, quel punto diventa anche il nodo strutturale, mentre nel disegno delle travi si sceglie un punto della quota superiore, in quanto normalmente le travi sono a raso con il solaio.

4.3.1 Fili fissi per i pilastri rettangolari

Nella figura 4.1 nella pagina seguente appaiono i 9 numeri che rappresentano il filo fisso dei pilastri. Si può notare che la rotazione del pilastro comporta una rotazione dei fili fissi. In particolare una rotazione di 90° fa sì che la posizione dei numeri venga completamente stravolta. Pertanto è conveniente usare due sezioni diverse per pilastri ruotati di 90° (ad esempio 30x50 e 50x30); in tal modo il filo fisso N° 1 si trova sempre in basso a sinistra.

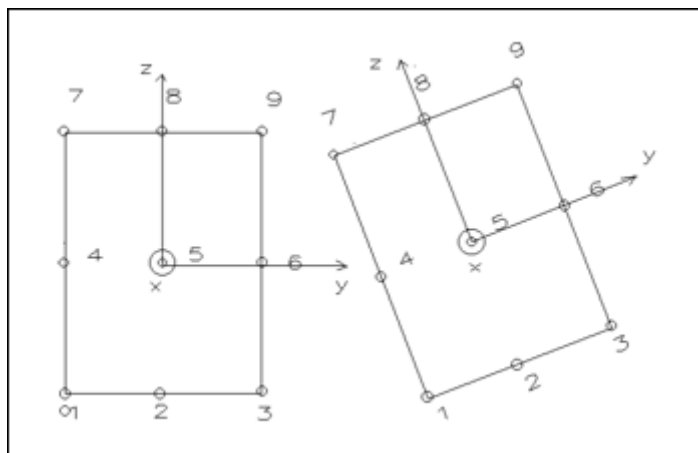



Figura 4.1 – Fili fissi per i pilastri rettangolari

4.3.2 Fili fissi per i pilastri circolari

Anche per i pilastri circolari sono stati introdotti i 9 fili fissi; si ottengono in modo molto semplice le eventuali riseghe ai piani superiori.

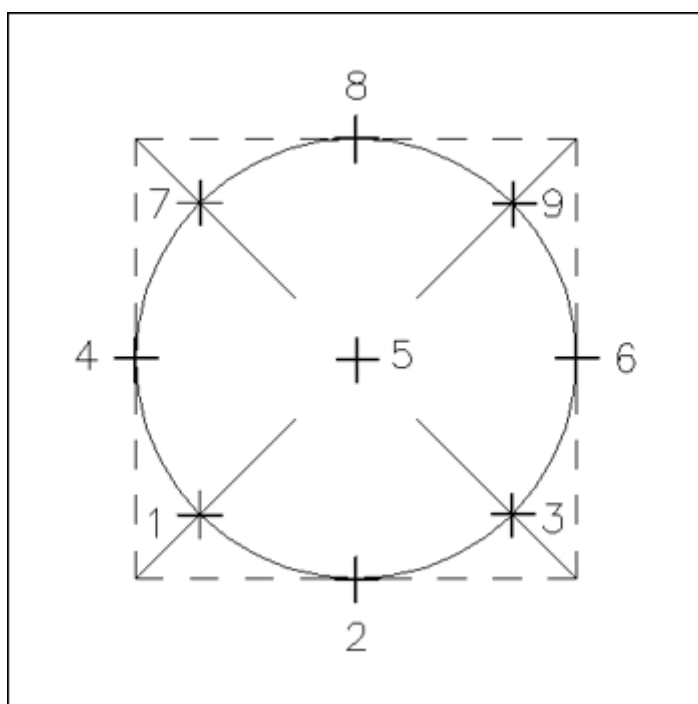



Figura 4.2 – Fili fissi per i pilastri circolari

4.3.3 Fili fissi per i pilastri ad L e T

Nelle figure 4.3 e 4.4 nella pagina successiva sono rappresentati i fili fissi per le sezioni ad “L” e “T” con l’indicazione delle armature di spigolo (5 punti per le prime e 8 per le seconde) e di quelle distribuite A_y e A_z.

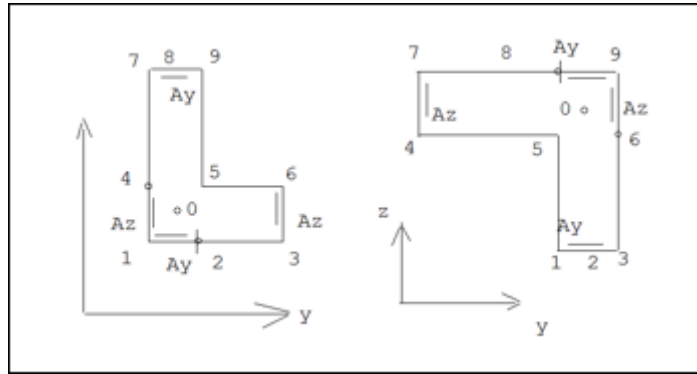



Figura 4.3 – Fili fissi e armature distribuite per i pilastri ad L

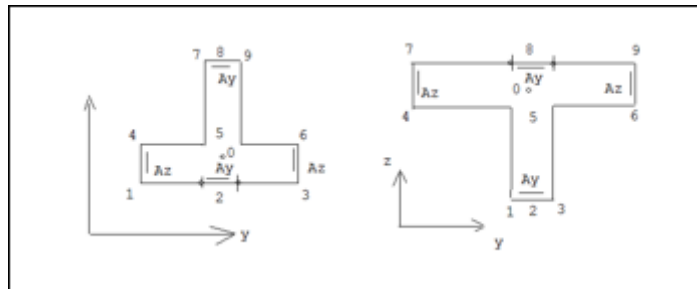



Figura 4.4 – Fili fissi e armature distribuite per i pilastri a T

4.3.4 Fili fissi per le travi

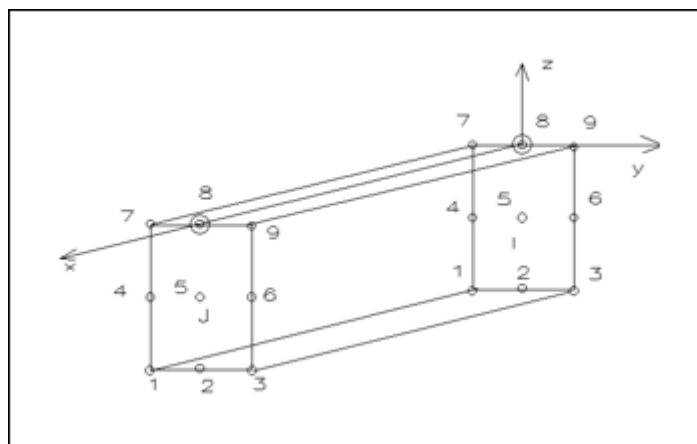



Figura 4.5 – Fili fissi per le travi

Il filo fisso delle travi (8 da default) viene posizionato a livello di estradosso del solaio e pertanto l'asse della trave viene traslato rispetto alla congiungente i nodi in direzione *z* locale di un valore -H/2, dove H è l'altezza della trave. In queste condizioni, dopo aver eseguito il calcolo, i momenti nel nodo non rispettano l'equilibrio: infatti il momento della trave è ottenuto non nel nodo, ma in un punto più basso di -H/2, cioè sull'asse della trave, mentre quello del pilastro viene considerato nel nodo. Una trave che ha filo fisso 0 avrà il suo asse agganciato sui nodi

(iniziale e finale). Nel caso di strutture con dimensioni trasversali delle travi e dei pilastri trascurabili rispetto alla lunghezza degli stessi, cioè strutture a nodi puntiformi, è inutile inserire i fili fissi. Per le strutture in cemento armato, invece, bisogna o modificare i fili fissi sia per le travi che per i pilastri, oppure modificare i fili fissi di travi e pilastri dalle posizioni predefinite.

4.3.5 Modifica fili fissi

Per ogni pilastro basta cliccare su uno dei 9 punti che corrisponde al filo fisso.

Per le travi invece il filo fisso è una quaterna di punti dove i primi due rappresentano il filo fisso della trave e quello del pilastro al quale è collegato sul nodo iniziale e gli altri due rappresentano il filo fisso della trave e quello del pilastro a cui è collegata sul nodo finale.

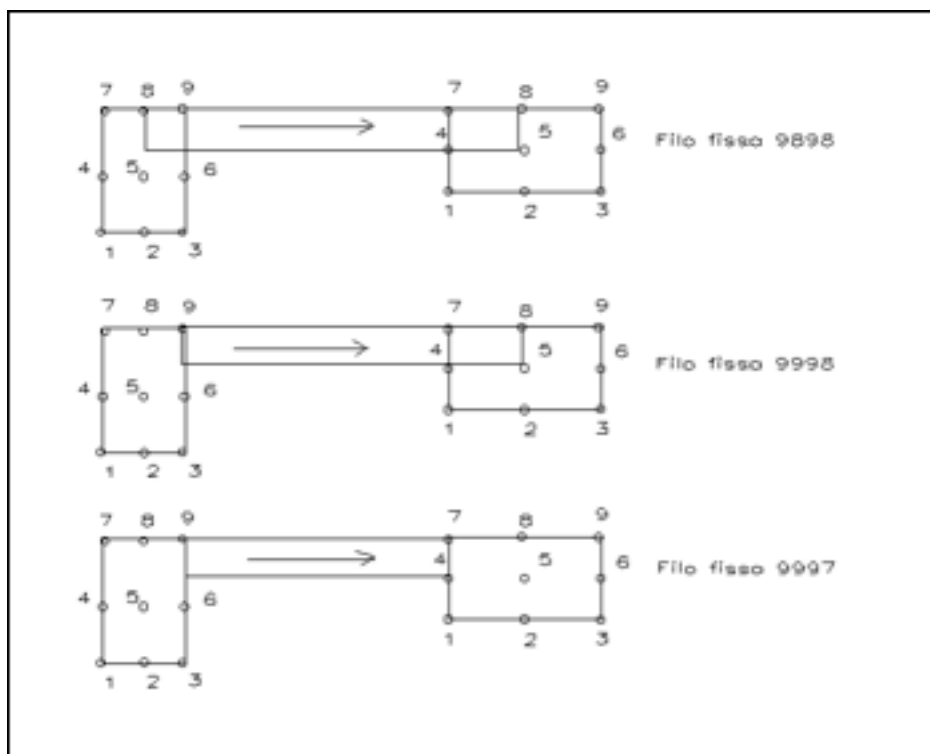



Figura 4.6 – Configurazioni del filo fisso tra pilastri e travi

4.3.6 Traslazione fili fissi

Tra i nodi di una struttura e i fili fissi c'è una corrispondenza perfetta se i pilastri e le travi sono centrati. Nella maggioranza dei casi però, i collegamenti tra pilastri e travi sono a raso (sui pilastri), e dunque si presentano puntiformi. In altre parole la parte di pilastro comune con la trave e la parte di trave comune con il pilastro viene considerata con la stessa flessibilità rispettivamente del pilastro e della trave; però, essendo

l'asse della trave traslato rispetto alla congiungente i nodi, che giacciono a livello d'impalcato di un valore -H/2 in direzione z locale o globale se la trave è orizzontale, risulta collegato ai nodo da conci rigidi verticali, di lunghezza H/2.

L'aggancio della trave nel centro o a bordo del pilastro consente di gestire il nodo trave-pilastro o tutto rigido o puntiforme.

La traslazione dei fili fissi degli estremi di un'asta lungo x locale consente di definire l'entità del concio rigido e di ricavare le sollecitazioni al filo del concio rigido e pertanto a filo pilastro o filo trave o in un qualunque punto interno al blocco trave-pilastro. La traslazione lungo x locale consente quindi di poter accorciare anche i pilastri ottenendo le sollecitazioni a filo trave o internamente alla trave. Comunque le traslazioni lungo x locale possono essere effettuate solo in modo che l'asta si accorci rispetto alla luce teorica che è rappresentata dalla congiungente i nodi.

4.4 Muri

I muri o shell sono degli elementi irrigidenti rettangolari verticali che possono essere inseriti puntando con il mouse due nodi alla quota in basso avendo fissato l'altezza; i muri possono anche essere poligonali e non verticali fissando i nodi del contorno. In tal caso i muri possono avere 3, 4 o n lati. **IperSpace MAX**® prevede due tipologie di muri: "a pannelli" o "a mesh" a seconda del tipo di discretizzazione scelto; nel primo caso vengono discretizzati con maglia regolare impostando il numero di divisioni nelle due direzioni locali al muro, nel secondo caso la discretizzazione avviene a valle in modo automatico potendo definire vari parametri che regolano l'infittimento e la qualità della mesh.

Perché il muro sia collegato alla struttura almeno un nodo dello stesso deve essere nodo della struttura.

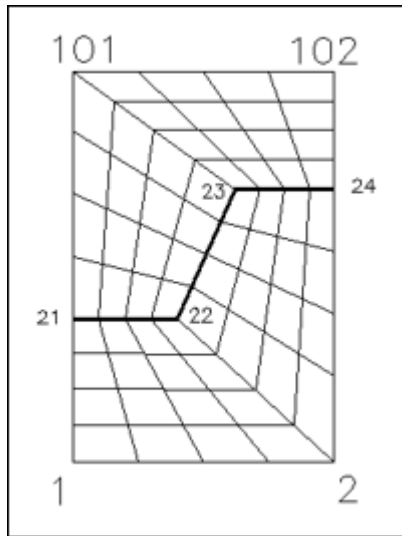



Figura 4.7 – Trave a ginocchio

Si consideri la trave a ginocchio di figura 4.7 individuata dai nodi 21-22-23-24 e collegata ai pilastri 1-101 e 2-102; un muro che collega i nodi 1-2-101-102 non è affatto collegato alle aste della trave a ginocchio, ma è semplicemente collegato alla fondazione 1-2 e alla trave di piano 101-102, questo perché i nodi di un'asta si collegano al muro **se sono anche nodi del muro**. In figura 4.7 invece, introducendo 4 muri e precisamente i muri di nodi 1-2-22-21, 21-22-23-101, 22-2-24-23 e 23-24-102-101 si è realizzato un insieme di aste e muri perfettamente interagenti tra di loro. Allo stesso risultato si giungerebbe, in maniera più semplice, inserendo un muro poligonale (di tipo mesh) tra i nodi 1-2-102-101. In tal caso la mesh si aggancerebbe perfettamente anche ai nodi 21-22-23-24.

Un nodo è collegato al muro se coincide con uno dei nodi del muro. Un'asta è collegata al muro se i suoi nodi estremi sono anche nodi di un lato del muro. Un muro è collegato ad un altro se i lati in comune hanno i nodi coincidenti e il numero dei pannelli in corrispondenza del lato comune è lo stesso. Quest'ultimo requisito ovviamente è valido solo nel caso di "muri a pannelli".

Per far sì che ci sia collegamento tra nodi, aste e muri, bisogna spesso spezzare delle aste e inserire più muri. Un nodo è collegato ad un'asta se coincide con uno degli estremi dell'asta purché in quel punto il nodo non sia multiplo.

5 Analisi statica

L'equazione generale di equilibrio è:

$$M \cdot u'' + C \cdot u' + K \cdot u = R$$

Nel caso d'analisi statica si riduce a:

$$K \cdot u = R \tag{5.1}$$

dove:
K è la matrice di rigidezza dell'intera struttura
u è il vettore degli spostamenti nodali
R è il vettore dei carichi nodali
seguita dal calcolo delle sollecitazioni nei vari elementi.

5.1 Soluzione del sistema di equazioni

IperSpace MAX® sfrutta la tecnologia delle matrici sparse; la soluzione è ottenuta attraverso la fattorizzazione LU della matrice di rigidezza sfruttando la piattaforma di calcolo di **MATLAB**® sia per la fattorizzazione delle matrici sparse che per l'eventuale ottimizzazione attraverso algoritmi di ordinamento denominati *Approximate minimum degree permutation* (AMD) o *Symmetric Approximate minimum degree permutation* (SYMAMD).

5.2 Calcolo delle sollecitazioni

Le sollecitazioni nodali equivalenti (in coordinate locali dell'elemento) si ottengono come prodotto della matrice di rigidezza dell'elemento per il vettore spostamenti; le sollecitazioni interne si ricavano dal prodotto delle sollecitazioni nodali equivalenti per le funzioni di forma dell'equilibrio, successivamente sono sommate alle sollecitazioni prodotte dai carichi applicati all'elemento sul modello di trave completamente incastrata.

IperSpace MAX® archivia le sollecitazioni e gli spostamenti per tutte le condizioni di carico. Pertanto se non si modificano gli spettri, le masse e la geometria è possibile rieseguire il calcolo semplicemente ricombinando i risultati. Ovvero ricombinando il calcolo si ottengono dei risultati relativi alle masse, carichi e vincoli presenti al momento in cui è stato eseguito il calcolo.

6 Analisi dinamica modale

Nel caso di analisi dinamica i nodi delle fondazioni superficiali vanno bloccati almeno alla Winkler, altrimenti la struttura può diventare labile;

L'analisi dinamica per strutture in zona sismica viene eseguita secondo i seguenti passi:

1. Calcolo degli autovalori $\lambda_i = \omega_i^2$ e autovettori Φ_i per modi di vibrare, richiesti, della struttura.
2. Lettura dell'accelerazione spettrale $S_a(T_i)$ dallo spettro di risposta.
3. Calcolo dei coefficienti di partecipazione modale:
$$g_i = \sum_{j=1}^{n} \Phi_{ij} \cdot m_j$$
4. Calcolo del contributo massimo in termini di accelerazione per ogni modo:
$$\max p_i'' = g_i \cdot S_a(T_i)$$
5. Calcolo del contributo massimo in termini di spostamento per ogni modo:
$$\max p_i = g_i \cdot S_a(T_i)/\lambda_i$$
6. Ritorno alle coordinate $u_j = \Phi_{ij} \cdot \max p_i$
7. Calcolo del contributo massimo per ogni grandezza
8. Sovrapposizione modale.

6.1 Calcolo degli autovalori e autovettori

La soluzione del sistema di equazioni omogeneo:

$$M \cdot U'' + K \cdot U = 0 \tag{6.1}$$

fornisce gli autovalori ed autovettori.

La soluzione delle equazioni (6.1) si potrà porre nella forma:

$$U = \Phi \cdot \sin \omega (t - t_0)$$

dove Φ è un vettore di ordine n e ω una frequenza angolare.

Sostituendo la suddetta soluzione nelle equazioni (6.1) si ottengono le equazioni del problema generalizzato agli autovalori, da cui si possono ricavare i vettori Φ e le frequenze ω:

$$K \cdot \Phi = \omega^2 \cdot M \cdot \Phi \tag{6.2}$$

Affinché il sistema omogeneo di equazioni (6.2) ammetta soluzioni non banali, occorre che:

$$\det\left(K - \omega^2 \cdot M\right) = 0 \tag{6.3}$$

La (6.3) individua un polinomio caratteristico i cui n zeri (distinti o meno) costituiscono gli n autovalori ω_i^2 che sostituiti nella (6.2) forniscono gli autovettori Φ_i, ciascuno determinato a meno di una costante moltiplicativa arbitraria.

In definitiva le equazioni (6.1) sono verificate da ciascuna delle n soluzioni:

$$\Phi_i \cdot \sin \omega_i (t - t_0)$$

con $i = 1, 2, 3, \ldots, n$.

IperSpace MAX® determina autovalori ed autovettori attraverso le librerie di **MATLAB**® sfruttando la tecnologia delle matrici sparse, ottimizzata per il solutore **Space Solver**, attraverso la prefattorizzazione *LU* della matrice di rigidezza. In particolare si sfruttano le procedure della libreria *ARPACK*, e nello specifico le procedure denominate *DSAUPD*, *DSEUPD*, *DNAUPD*, *DNEUPD*, *ZNAUPD*, e *ZNEUPD*. L'algoritmo è simile al *SUBSPACE ITERATION* (iterazione in sottospazi).

L'algoritmo richiede che se si vogliano estrarre, con buona approssimazione, N autovalori/autovettori sia necessario che la procedura estragga $M = \max(8, 2N)$ autovalori/autovettori; quindi assumendo una matrice delle masse diagonale per estrarre N autovalori devono essere presenti almeno $2N$ masse.

A questa procedura fa eccezione il caso in cui la condizione precedente non sia soddisfatta e il numero delle masse sia minore di 50. Infatti per piccole strutture potrebbe non essere verificata la condizione precedente e quindi l'algoritmo potrebbe fornire dei risultati non corretti. A ciò si ovvia (quando $M < 50$) con l'estrazione di tutti gli autovalori. La limitazione di 50 masse è convenzionale e relativa solo al fatto che per matrici di poco più grandi si avrebbero tempi improponibili per l'estrazione di tutti gli autovalori.

Nei casi intermedi (numero di masse insufficienti per il numero di modi richiesto e masse $M > 50$) viene applicata la procedura standard

avvertendo l'utente che i risultati potrebbero essere non corretti a causa della poca precisione. In tali casi l'utente deve intervenire al fine di ridurre il numero di masse per scendere al di sotto di 50, o aumentare il numero di masse per soddisfare la condizione precedente (ad esempio infittendo la mesh di qualche macro shell).

6.2 Analisi sismica della struttura

Nel caso di un oscillatore ad n gradi di libertà alla base del quale sia imposto uno spostamento $x(t)$, sia $u_i(t)$ lo spostamento relativo alla massa m_i rispetto alla base; trascurando lo smorzamento l'equazione generale del moto diventa:

$$M \cdot u'' + K \cdot u = -M \cdot J \cdot x'' \tag{6.4}$$

in cui J indica un vettore di selezione corrispondente ai g.d.l a cui è applicato il moto; ad esempio se l'accelerazione è diretta secondo l'asse X e le prime n incognite rappresentano le traslazioni secondo l'asse X dei nodi della struttura allora J conterrà, per i primi n termini, il valore 1 e per i restanti il valore 0.

Si consideri la matrice Φ, che si ottiene ordinando tutti gli autovettori per colonne, e la matrice diagonale Ω che è formata da tutti gli autovalori.

L'ortogonalità degli autovettori comporta che:

$\Phi^T \cdot M \cdot \Phi = I$ dove I è la matrice identità, cioè una matrice diagonale con tutti i valori unitari e $\Phi^T \cdot K \cdot \Phi = \Omega$ dove Ω è la matrice diagonale degli autovalori.

Introduciamo delle nuove coordinate raccolte nel vettore p, dette coordinate principali e legate alle coordinate u dalla trasformazione lineare:

$$u = \Phi \cdot p$$

Sostituendo nella equazione del moto (6.4) e premoltiplicando ambo i membri per Φ^Tsi ha:

$$\Phi^T \cdot M \cdot \Phi \cdot p'' + \Phi^T \cdot K \cdot \Phi \cdot p = -\Phi^T \cdot M \cdot J \cdot x''$$

che può scriversi:

$$p'' + \Omega \cdot p = -\Phi^T \cdot M \cdot J \cdot x''$$

ed in forma scalare, nel caso di M diagonale e con solo g.d.l. a cui è applicato il moto [1]:

$$p_i'' + \lambda_i \cdot p_i = -\sum_{J=1}^{n} \Phi_{ij} \cdot m_j \cdot x''$$

[1] ad esempio nel caso di un telaio con impalcati infinitamente rigidi e g.d.l. uguali alla traslazione degli impalcati, supponendo ovviamente che la matrice di rigidezza sia stata condensata rispetto a tali g.d.l.

con $i = 1, 2, 3, \ldots, n$.

Quest'ultima contiene una sola incognita per equazione, dunque il sistema è costituito da n equazioni disaccoppiate.

Ponendo $g_i = \sum_{J=1}^{n} \Phi_{ij} \cdot m_j$ e più in generale $g_i = \Phi_i^T \cdot M \cdot J$

si ha:

$$p_i'' + \lambda_i \cdot p_i = -g_i \cdot x''$$

Si può notare che il modo i-esimo del sistema dà alla risposta globale un contributo pari alla risposta dell'oscillatore semplice di pulsazione ω_i sottoposto alla frazione g_i del terremoto x''.

Il coefficiente g_i è detto *coefficiente di partecipazione modale*.

Dallo spettro del terremoto di progetto in termini di accelerazione $S_a(T)$ è possibile determinare per ogni modo: $p''_{i\max} = g_i \cdot S_a(T_i)$ e lo spostamento massimo $p_{i\max} = g_i \cdot S_a(T_i) / \lambda_i$

Ciò sta a significare che, attraverso lo spettro, possono calcolarsi i massimi contributi forniti dai diversi modi di vibrazione, mentre resta indeterminata l'esatta amplificazione istantanea di ciascun modo di vibrazione.

Questa soluzione del problema della determinazione delle sollecitazioni causate dai terremoti non è una soluzione deterministica, ma piuttosto una soluzione convenzionale in quanto convenzionale è appunto la sovrapposizione degli effetti massimi connessi a ciascun modo di vibrare, dato che non è detto che i massimi effetti si verifichino contemporaneamente.

Le forze statiche equivalenti dovute al modo di vibrazione i-esimo si calcolano con la formula:

$$F_i = M \cdot u''_{i-\max} = M \cdot \Phi_i p''_{i-\max} = g_i \cdot S_a(T_i) \cdot M \cdot \Phi_i$$

6.2.1 Sovrapposizione modale

La sovrapposizione modale usa il metodo *CQC* (Complete Quadratic Combination) o Metodo della Combinazione Quadratica Completa.

La formula che determina la generica grandezza dinamica A è data da:

$$A = \sqrt{\sum_{i=1}^{Nf} \sum_{j=1}^{Nf} A_i \cdot \beta_{ij} \cdot A_j}$$

In questo metodo la formula di combinazione è una forma quadratica completa che include tutti i termini di risposta modale combinati attraverso opportuni coefficienti β_{ij} da qui la denominazione di metodo CQC.

In generale i coefficienti β_{ij} sono funzione della durata e delle frequenze contenute nel carico dinamico generico o in particolare del sisma, delle frequenze modali e del fattore di smorzamento della struttura.

Nel caso di smorzamento modale costante a, di durata del sisma lunga rispetto ai periodi della struttura e di spettro piatto per una larga banda di frequenze, β_{ij} è dato da:

$$\beta_{ij} = \frac{8a^2 r_{ij}^{3/2}}{(1 + r_{ij})\left[(1 - r_{ij})^2 + 4a^2 r_{ij}\right]}$$

dove $r_{ij} = \omega_j/\omega_i$.

Si nota che se $r_{ij} = 1 \Rightarrow \beta_{ij} = 1$.

È importante notare che i termini quadratici così ottenuti possono assumere valori positivi o negativi a seconda che i corrispondenti termini di risposta modale siano dello stesso segno o di segno contrario.

Questo metodo fornisce risultati simili a quelli del metodo *SRSS* quando le frequenze modali della struttura sono abbastanza diverse tra loro.

IperSpace MAX® attribuisce comunque un segno a queste sollecitazioni derivandolo da quello che compete al modo con maggior coefficiente di partecipazione nella combinazione; ciò consente di superare un limite nella progettazione delle fondazioni in quanto se da un lato si verifica il massimo dello sforzo normale dall'altro si verificherà il minimo.

7 Note sul calcolo

7.1 Analisi strutturale

L'analisi di una struttura può essere eseguita a vari livelli.

7.1.1 zona non sismica

Il calcolo può essere effettuato combinando tra loro le varie condizioni di carico elementari:

- peso proprio
- scarico di solai
- forze e coppie nodali
- spostamenti nodali impressi
- spinta del vento
- spinta delle terre sui muri
- spinta idrostatica su muri
- carichi termici, ecc.

7.1.2 zona sismica

In questo caso oltre alle sollecitazioni dovute ai carichi statici del punto precedente si considerano anche:

- le sollecitazioni dovute ad un sistema di forze statiche equivalenti indotte dal sisma (*Analisi Statica*) agenti secondo le due direzioni principali della struttura;
- le sollecitazioni indotte dai vari modi di vibrare della struttura per effetto del sisma (*Analisi Dinamica* di tipo *Modale*)

Nel caso di analisi Dinamica la combinazione delle caratteristiche modali avviene con il metodo *CQC* (Complete Quadratic Combination) o Metodo della Combinazione Quadratica Completa.

È importante notare che i termini quadratici così ottenuti possono assumere valori positivi o negativi a seconda che i corrispondenti termini di risposta modale siano dello stesso segno o di segno contrario.

Questo metodo dà risultati simili a quelli del metodo *SRSS* quando le frequenze modali della struttura sono abbastanza diverse tra loro.

Dal momento che il metodo CQC non incrementa in modo molto significativo le operazioni di calcolo è conveniente sempre eseguire la combinazione dei modi con tale metodo.

7.2 Rigidezza assiale delle aste

7.2.1 Rigidezza assiale infinita

Normalmente nel calcolo dei telai a maglie rettangolari con i metodi di rilassamento si presupponeva infinita la rigidezza assiale delle aste.

Con l'introduzione del calcolo matriciale, per strutture a maglie rettangolari, l'ipotesi di rigidezza assiale infinita poteva ancora conservarsi ma, nel caso di strutture a maglie generiche, era necessario rimuovere questa ipotesi. Ciò, anche nel caso di strutture a maglie rettangolari, ha comportato degli indubbi vantaggi come, ad esempio, facilità di risoluzione di strutture ad aste interrotte, ma ha anche creato degli inconvenienti: in pratica è come se si costruisse la struttura istantaneamente e successivamente si applicassero i carichi ottenendo dei cedimenti differenziati.

Invece nel caso di strutture per le quali i pesi propri siano preponderanti rispetto ai carichi (ad esempio strutture in cemento armato) gli abbassamenti teorici calcolati con la deformabilità assiale sono molto diversi da quelli reali, specie ai piani alti, perché al momento della esecuzione di questi ultimi è stata già applicata una notevole frazione dell'intero carico.

Pertanto è buona norma *amplificare la rigidezza assiale dei pilastri* [1] per ridurre questi effetti indesiderati. In generale:

- Il calcolo per carichi verticali viene eseguito su un modello della struttura con coefficiente amplificato della rigidezza assiale dei pilastri.
- Il calcolo sismico (normalmente definito come analisi modale) viene eseguito su un modello di struttura con coefficiente unitario.
- Il calcolo termico viene eseguito su un modello della struttura con coefficiente unitario e considerando gli impalcati deformabili.

[1] in generale il coefficiente di amplificazione può essere scelto pari a dieci volte il numero dei piani per strutture prive di pareti e semplicemente pari a 10 per strutture con pareti irrigidenti

7.2.2 Rigidezza assiale nulla

Per le travi di un graticcio di fondazione, essendo bloccate le traslazioni secondo X ed Y una rigidezza assiale non nulla, essendo di norma l'asse baricentrico della trave traslato verso il basso o verso l'alto rispetto alla congiungente i nodi, comporterebbe uno sforzo normale nella trave che andrebbe ad equilibrare parte dei momenti nei nodi:**IperSpace MAX**®, dunque, annulla automaticamente la rigidezza assiale delle travi di fondazione.

Per le travi di elevazione, essendo incassate a livello di solaio, si verifica lo stesso fenomeno della trave di fondazione quando il calcolo viene eseguito per impalcati rigidi: **IperSpace MAX**®, analogamente, annulla la rigidezza assiale delle travi di elevazione quando appartengono almeno ad una maglia di impalcato rigido.

7.3 Muri e pareti irrigidenti

L'effetto delle pareti di cantinato, delle pareti di taglio, delle platee e delle piastre viene tenuto in conto con la discretizzazione dell'elemento in elementi shell (le cui dimensioni possono essere 3 o 4 volte lo spessore).

La discretizzazione consente anche di trattare strutture speciali, tipo: serbatoi, vasche, volte, cupole, determinando le sollecitazioni in ogni singolo elemento e ottendendo l'armatura conseguente.

L'elemento [Thin plate & shell], § 3.2 a pagina 14 ha rigidezza flessionale, membranale e torsionale, pertanto un pilastro può partire da una parete verticale e una trave può terminare su una parete, anche in modo complanare.

7.3.1 Vincoli dei muri discretizzati

Se si vincolano due nodi consecutivi di un muro, viene automaticamente vincolato tutto il lato compreso tra i due nodi. Ne consegue che una piastra rettangolare con i quattro vertici incastrati viene calcolata come se fosse incastrata su tutto il contorno. In generale il vincolo del lato è costituito dal minore dei due vincoli estremi. Pertanto se si vuol rendere libero un lato, lasciando inalterati i restanti vincoli estremi, bisogna introdurre in quel lato un nodo libero accessibile dall'esterno; ciò è possibile creando e poi meshando il muro dopo aver inserito il nuovo nodo.

7.4 Interazione suolo-struttura

Il calcolo della struttura insieme alle fondazioni potrebbe introdurre nella struttura dei meccanismi particolari. In pratica una struttura cal-

colata insieme alle fondazioni viene ad essere sottoposta a dei cedimenti differenziati istantanei non sempre realmente presenti. Cioè si verifica un fenomeno analogo a quanto avviene considerando la *deformabilità assiale dei pilastri*. Infatti i terreni si possono dividere essenzialmente in due categorie:

- terreni coerenti
- terreni incoerenti

Per i primi, i cedimenti sono costituiti da due aliquote:

1. cedimenti istantanei;
2. cedimenti di consolidazione, frazione del cedimento edometrico.

Normalmente la seconda aliquota è preponderante e avviene in tempi piuttosto lunghi (anche anni) e dunque la struttura si adeguerà a questi cedimenti in un esteso arco temporale con sollecitazioni ben diverse da quelle che vengono fuori considerando l'interazione suolo-struttura.

Per i terreni incoerenti i cedimenti sono praticamente istantanei pertanto il fabbricato si assesta durante il progredire della costruzione e di conseguenza specie le membrature degli ultimi piani non subiscono affatto quei cedimenti considerando l'interazione suolo-struttura.

In virtù di quanto esposto potrebbe essere conveniente, specie per fabbricati piuttosto alti, eseguire il calcolo, la verifica ed il dimensionamento delle strutture in elevazione bloccando i nodi di fondazione con un incastro. Successivamente, attraverso l'applicativo "Esporta Fondazione", sarà possibile generare la sola struttura di fondazione con applicati tutti i carichi provenienti dal calcolo della struttura di elevazione.

7.4.1 Costante di Winkler

La costante di winkler k per una fondazione reale si ottiene correlando il valore di k_1 ottenuto dalla prova su piastra (normalmente quadrata di lato 30 cm) e le dimensioni della fondazione secondo le seguenti formule:

$$k = k_1(\frac{B+30}{2B})^2 \qquad \text{per le sabbie e argille normali}$$

$$k = k_1\frac{30}{1.5B} \qquad \text{per le argille sovraconsolidate}$$

Nel caso si disponga di una stratigrafia dettagliata è possibile calcolare il cedimento della fondazione reale sotto un carico unitario ed ottenere la costante come rapporto tra il carico e il cedimento.

8 Analisi pushover

8.1 Introduzione

Il modulo per l'analisi statica non lineare (*pushover*) si basa sul solutore **SeismoStruct**®, un software ad elementi finiti capace di predire il comportamento, in grandi spostamenti, di strutture intelaiate tridimensionali soggette a carichi statici e dinamici, tenendo in conto della non linearità sia geometrica che del materiale.

Sono disponibili diversi modelli costitutivi per acciaio e calcestruzzo, così come un'ampia libreria di elementi tridimensionali che possono essere utilizzati insieme a predefinite configurazioni di sezioni in acciaio, calcestruzzo o miste.

La diffusione dell'inelasticità lungo l'elemento e attraverso la sezione è modellata esplicitamente, permettendo una stima accurata della distribuzione del danno. Quest'ultima, accoppiata con la stabilità e accuratezza numerica del programma ad elevati livelli di deformazione, permette una precisa determinazione della risposta inelastica e del carico di collasso di qualunque configurazione strutturale a telaio.

Nell'analisi pushover adattiva, non ancora implementata in **IperSpace MAX**®, la distribuzione dei carichi laterali non è mantenuta costante ma viene aggiornata continuamente in accordo con le forme modali e i coefficienti di partecipazione derivati dall'analisi agli autovalori, eseguita ad ogni incremento di carico.

In questo modo sono tenuti in conto, ad ogni passo, la variazione della rigidezza e l'allungamento del periodo della struttura, così come gli effetti dei modi più alti. In particolare la variante del metodo basata sulla deformazione, grazie alla sua capacità di modificare la distribuzione degli spostamenti trasversali nella struttura, in accordo con i continui cambiamenti delle proprietà modali del sistema, permette di superare i limiti intrinseci della pushover in spostamento con distribuzione fissa dei carichi, costituendo uno strumento per la valutazione "performance-oriented" di strutture, molto più accurato di qualunque metodo statico basato sulle forze.

La procedura di risposta automatica utilizzata nell'analisi pushover permette un significativo aumento dell'efficienza, grazie ad un adattamento automatico dell'incremento di carico in funzione del livello di inelasticità e delle difficoltà di convergenza che si presentano.

Il solutore possiede la capacità di suddividere, in modo appropriato, gli incrementi di carico qualora si presentino problemi di convergenza. Il livello di suddivisione dipende dalle difficoltà di convergenza incontrate. Quando le difficoltà di convergenza sono superate il programma aumenta automaticamente l'incremento di carico ritornando al valore originario.

Per permettere un'accurata stima della distribuzione del danno strutturale, la diffusione dell'inelasticità del materiale lungo il membro strutturale e attraverso la sezione è rappresentata esplicitamente attraverso l'utilizzo di una modellazione a fibre implementata negli elementi inelastici trave-colonna.

Lo stato di sforzo e deformazione degli elementi trave-colonna è ottenuto tramite l'integrazione della risposta uniassiale non lineare sforzo-deformazione di ciascuna delle fibre in cui è suddivisa la sezione. La discretizzazione di una tipica sezione in cemento armato è rappresentata nella figura 8.1. Se viene utilizzato un numero sufficiente di fibre (200-400 in un'analisi tridimensionale), la distribuzione delle non linearità del materiale attraverso la sezione è solitamente ben descritta, anche nel caso di elevata non linearità.

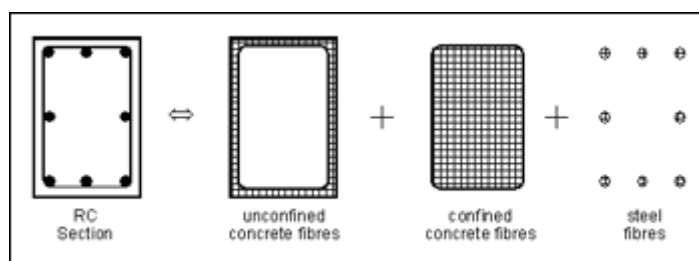



Figura 8.1 – Discretizzazione di una sezione in cemento armato

La distribuzione dell'inelasticità lungo l'elemento si ottiene come prodotto della formulazione cubica inelastica su cui sono basati gli elementi trave-colonna. Per l'integrazione numerica delle equazioni che governano la formulazione cubica sono utilizzati due punti di Gauss (vedi fig. 8.2 a fronte) per elemento.

I risultati in termini di sforzo/deformazione sono sempre riferiti a queste sezioni di Gauss e non alle sezioni di estremità dell'elemento.

Se si utilizza un numero sufficiente di elementi (5-6 per membro strutturale), la lunghezza della cerniera plastica nei membri soggetti ad un'elevata inelasticità del materiale può essere accuratamente stimata.

Plasticità concentrata

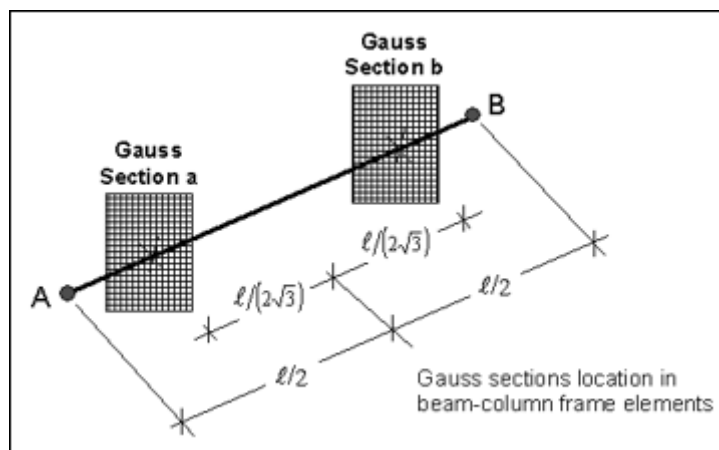



Figura 8.2 – Sezioni di Gauss per un elemento trave-colonna

La modellazione (a plasticità concentrata) deve essere utilizzata con attenzione in quanto l'accuratezza dell'analisi può essere compromessa qualora l'utente non abbia esperienza nella calibrazione delle *curve di risposta*, disponibili per la definizione dell'elemento "joint"; la natura disaccoppiata dei diversi gradi di libertà non permette inoltre la modellazione delle curve/superfici di interazione azione assiale/momento. La modellazione a plasticità diffusa, invece, non richiede alcuna esperienza di modellazione in quanto tutto ciò che è richiesto all'utente è l'introduzione delle caratteristiche geometriche e del materiale dell'elemento strutturale. Il suo utilizzo è quindi vivamente consigliato in quanto garanzia di una accurata previsione della risposta non lineare della struttura.

Plasticità diffusa

8.2 Materiali

8.2.1 Menegotto-Pinto steel model - stl_mp

Questo è un modello uniassiale dell'acciaio basato su una semplice ma efficiente formulazione proposta da [Menegotto e Pinto, 1973], e successivamente arricchito da [Filippou *e altri*, 1983], che hanno introdotto nuove leggi di incrudimento isotropo. Esso utilizza un modulo di danno per rappresentare in modo più accurato la diminuzione della rigidezza ed è stato modificato e migliorato da [Fragiadakis *e altri*, 2006] per ottenere una migliore stabilità ed accuratezza. Il suo utilizzo è mirato alla modellazione di strutture in cemento armato, in particolare quelle soggette a storie di carico complesse, dove possono avvenire significative inversioni di carico.

Devono essere definiti otto parametri allo scopo di descrivere pienamente le caratteristiche meccaniche del materiale:

Modulo di elasticità Es: è la rigidezza elastica iniziale. Il suo valore oscilla solitamente fra 200 e 210 GPa. Il valore di default è 200 GPa.

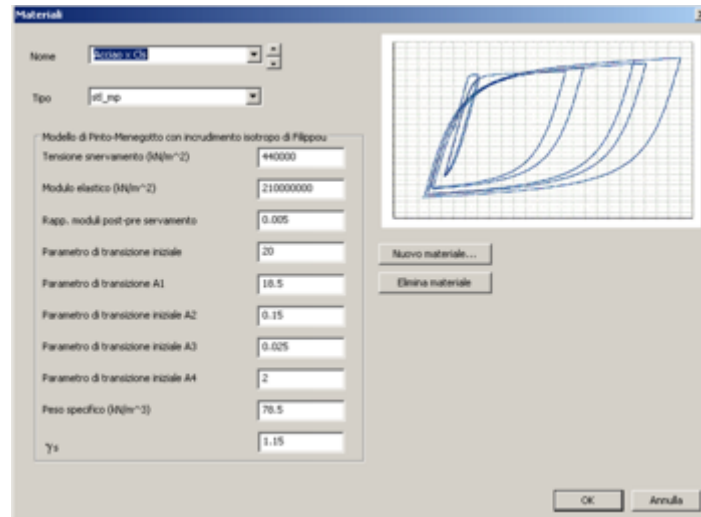



Figura 8.3 – Parametri per il modello di materiale Menegotto-Pinto

Resistenza a snervamento fy: è lo sforzo a snervamento. Il suo valore tipicamente varia da 230 MPa fino a 650 MPa. Il valore di default è 500 MPa.

Parametro di incrudimento μ: è il rapporto fra la rigidezza post-snervamento Esp e la rigidezza iniziale elastica Es del materiale. La prima è definita come $Esp = (fult - fy)/(-fy/Es)$, dove $fult$ e $-fy/Es$ rappresentano la capacità ultima o massima di sforzo e la deformazione del materiale. Il suo valore tipicamente varia da 0.005 a 0.015. Il valore di default è 0.005.

Parametro della forma iniziale della curva di transizione R0: è il valore iniziale (primo carico ciclico) del parametro R, che controlla la forma della curva di transizione fra rigidezza iniziale e post-snervamento, necessario per rappresentare accuratamente gli *effetti Baushinger* e di *pinching* dei cicli isteretici. Il valore di default è 20.

Coefficienti di calibrazione della forma della curva di transizione a1 e a2: sono i due coefficienti usati per calibrare i cambiamenti che devono essere applicati al parametro $R0$ al fine di ottenere il parametro di forma Rn della curva di transizione aggiornata. Mentre $a1$ è di solito usato con un valore costante di 18.5, $a2$ può variare nell'intervallo tra 0.05 e 0.15. I valori di default sono 18.5 e 0.15 rispettivamente per i coefficienti $a1$ e $a2$.

Coefficienti di calibrazione dell'incrudimento isotropo a3 e a4: sono i due coefficienti usati per definire il livello a cui viene introdotto l'incrudimento isotropo nella risposta ciclica sforzo-deformazione del materiale. Nel caso di $a3$, si può solitamente trovare in pratica una variazione tra 0.01 e 0.025, mentre per il coefficiente $a4$ si osservano comunemente oscillazioni tra 2 e 7. Si nota comunque che poiché il

contributo dell'incrudimento isotropo è solitamente piccolo rispetto alla controparte cinematica; variazioni di questi parametri non influenzano significativamente la risposta ciclica caratteristica del materiale. I valori di default sono 0.025 e 2 rispettivamente per il coefficiente $a3$ e $a4$.

8.2.2 Calcestruzzo confinato

Questo è un modello uniassiale non lineare a confinamento costante per il calcestruzzo che segue la legge costitutiva proposta da [Mander *e altri*, 1988], successivamente modificata da [Martínez-Rueda e Elnashai, 1997] per ragioni di stabilità numerica nel caso di analisi in grandi spostamenti. Gli effetti del confinamento forniti dall'armatura trasversale sono incorporati attraverso le regole proposte da [Mander *e altri*, 1988] dove si assume una pressione di confinamento costante attraverso l'intero campo di sforzi-deformazioni.

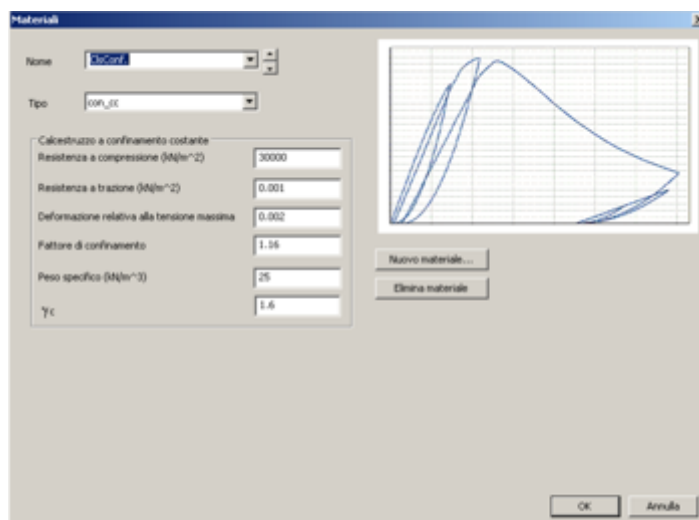



Figura 8.4 – Parametri per il modello di materiale calcestruzzo confinato

Devono essere definiti quattro parametri per descrivere completamente le caratteristiche meccaniche del materiale:

Resistenza a compressione fc: è la capacità a compressione cilindrica (100x200 mm) del materiale. Il suo valore varia tipicamente tra 15 MPa e 45 MPa. Il valore di default è 30 MPa.

Resistenza a trazione ft: è la capacità a trazione del materiale. Può essere stimato come $f_t = k_t \sqrt{f_c}$ dove k_t varia da 0.5 (calcestruzzo soggetto a trazione diretta) a 0.75 (calcestruzzo soggetto a trazione dovuta a flessione), come suggerito da [Priestley *e altri*, 1996]. Il valore di default è 3 MPa.

Deformazione al valore di picco dello sforzo ϵ_c: è la deformazione corrispondente al punto di picco dello sforzo non confinato (fc). Per la

resistenza assiale pura del calcestruzzo, questo valore è considerato compreso tra 0.002 e 0.0022. Il valore di default è 0.002 mm/mm.

Fattore di confinamento kc: è un fattore di confinamento costante, definito come il rapporto tra lo sforzo di compressione nel calcestruzzo confinato e non confinato ed è usato per scalare la relazione sforzo-deformazione in tutto il range di deformazioni. Sebbene possa essere calcolato utilizzando un qualunque modello di confinamento disponibile in letteratura, si raccomanda l'uso della formula di [Mander *e altri*, 1988]. Il suo valore solitamente varia tra 1.0 e 1.3 per elementi in calcestruzzo armato e tra 1.5 e 4.0 per elementi miste acciaio-calcestruzzo. Il valore di default è 1.2 per strutture nuove, mentre 1.16 per edifici esistenti.

I valori di capacità a compressione ottenuti con test su provini cubici risultano solitamente tra il 10% e il 25% più elevati di quelli cilindrici, per una resistenza cilindrica del calcestruzzo variabile rispettivamente tra 50 e 15 MPa.

8.2.3 Calcestruzzo Non Confinato

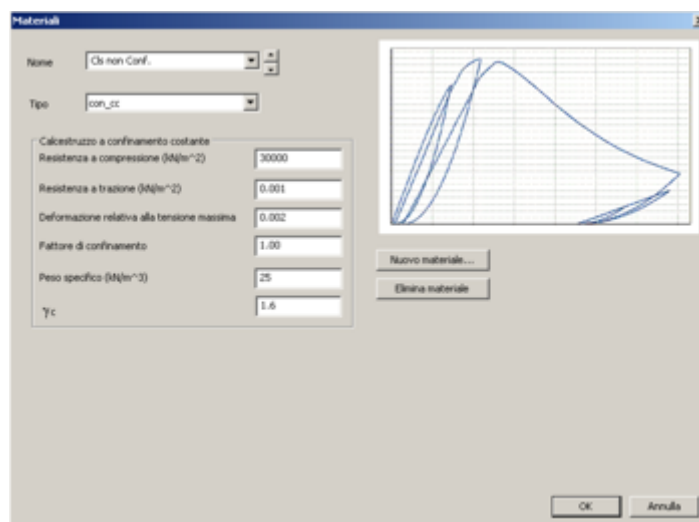



Figura 8.5 – Parametri per il modello di materiale calcestruzzo non confinato

In questo caso il fattore di confinamento *kc* è posto uguale a 1.

8.3 Pushover convenzionale

L'analisi pushover convenzionale (non adattiva) è frequentemente utilizzata per stimare la capacità in direzione orizzontale di strutture che

manifestano una risposta dinamica non affetta in modo significativo dal livello di deformazione raggiunto (in altre parole, la distribuzione di forze orizzontali, che mirano a simulare la risposta dinamica, può essere assunta costante).

Il carico incrementale applicato P è mantenuto proporzionale alla distribuzione nominale dei carichi, inizialmente definita dall'utente.

Il fattore di carico è automaticamente incrementato dal programma fino al raggiungimento di un limite definito dall'utente o del collasso numerico. Per l'incremento del fattore di carico possono essere utilizzate differenti strategie, poiché sono attualmente disponibili tre tipologie di controllo: di carico, di risposta e di risposta automatica.

Il *controllo di carico* si riferisce al caso in cui il fattore di carico è direttamente incrementato e gli spostamenti globali sono determinati ad ogni livello del fattore di carico.

Il *controllo di risposta* si riferisce all'incremento diretto dello spostamento globale di un nodo e al calcolo del fattore di carico che corrisponde a questo spostamento.

Il *controllo di risposta automatico* si riferisce ad una procedura in cui l'incremento di carico è automaticamente regolato in base alle condizioni di convergenza nel passo precedente.

L'analisi pushover convenzionale è caratterizzata dalla intrinseca incapacità *di tenere conto degli effetti che il progressivo degrado della rigidezza, tipico in strutture soggette a carichi sismici elevati, ha sulle caratteristiche della risposta dinamica della struttura, e quindi sulla distribuzione delle forze statiche equivalenti applicate durante la pushover.*

Infatti la natura fissa del carico applicato sulla struttura ignora la potenziale ridistribuzione delle forze durante una effettiva risposta dinamica, che l'analisi pushover cerca in qualche modo di cogliere. Di conseguenza le derivanti modifiche nelle caratteristiche modali della struttura (solitamente allungamento del periodo) e le conseguenti variazioni nell'amplificazione della risposta dinamica non sono tenute in conto, con il rischio di introdurre inaccuratezze non trascurabili, soprattutto in quei casi in cui l'influenza dei modi alti diviene significativa. Questi effetti possono essere tenuti in conto per mezzo della *pushover adattiva*.

8.3.1 Fasi di carico

Nell'analisi pushover, i carichi applicati solitamente consistono in *carichi gravitazionali permanenti* in direzione verticale z e in carichi incrementali in una o entrambe le direzioni trasversali (x e y). La grandezza dell'incremento di carico P_i ad ogni passo di analisi è data dal prodotto del suo

valore nominale P_0, definito dall'utente, e il fattore di carico λ ad ogni passo:

$$P_i = \lambda_i P_0$$

Il modo con cui il fattore di carico λ è incrementato nell'analisi o, in altre parole, la strategia di carico adottata nella pushover è completamente definita nel dialogo di figura 8.6.

Figura 8.6 – Parametri per il calcolo

Per ogni direzione del sisma, fissato il tagliante alla base in modo arbitrario, è possibile definire:

1. il tipo di distribuzione delle forze orizzontali (uniforme, triangolare e secondo la forma modale dominante). La norma prevede almeno due distribuzioni di carico (uniforme e secondo la forma modale);
2. la direzione delle forze X o Y;
3. il nodo di controllo in sommità coincidente o vicino al baricentro delle masse;

4. il numero di passi;
5. lo spostamento ultimo del nodo di controllo circa 5% dell'altezza dell'edificio;
6. il periodo della forma modale, inteso come modo che eccita le masse maggiori nella direzione specificata. Nel caso in esame è il secondo modo che eccita maggiormente le masse in direzione X;
7. la posizione delle masse.

Infine, è possibile definire la posizione delle masse e il periodo per determinare il fattore di partecipazione nelle verifiche. Questi dati sono necessari anche se la distribuzione delle forze è uniforme (come riportato in figura 8.7 nella pagina seguente).

*Ciò implica che in **IperSpace MAX®** è necessario che il calcolo sismico sia di tipo modale.*

Il carico incrementale P può consistere in forze o spostamenti, permettendo quindi di condurre sia pushover con incrementi di forza che di spostamento.

Chiaramente in molti casi l'applicazione di forze è preferibile in quanto imporre che la deformazione di una struttura abbia una forma predefinita può nascondere le caratteristiche della risposta vera (ad esempio nel caso di presenza di un *piano soffice*).

In generale, tenendo conto che per ogni direzione devono essere effettuate due analisi, una con distribuzione uniforme e l'altra con distribuzione di tipo lineare, si hanno come minimo, in assenza di spostamento delle masse di impalcato, quattro calcoli. Ne conseguono quattro curve pushover.

In generale dato che il modulo pushover è complementare a **IperSpace MAX®** l'utente è costretto a scegliere e a decidere quale posizione delle masse occorre usare ed inoltre, in base alla posizione delle masse, quale modo è predominante nella direzione di applicazione delle forze scelte; resta comunque la libertà d di decidere quanti e quali calcoli effettuare.

Per ulteriori chiarimenti a riguardo si consiglia lo scaricamento, dal sito `http://www.soft.lab.it`, delle dispense tratte dal convegno tenuto dal *Prof. Rui Pinho* in occasione del SAIE di Bologna (Ottobre 2006).

Bibliografia

FILIPPOU, F. C., POPOV, E. P. e BERTERO, V. V. (1983), «Modeling of RC joints under cyclic excitations», *Journal of Structural Engineering*, vol. 109 (11).

Figura 8.7 – Dati per il calcolo nel caso di distribuzione di forze uniformi

Fragiadakis, M., Lagaros, N. D. e Papadrakakis, M. (2006), «Performance-based multiobjective optimum design of steel structures considering life-cycle cost», *Structural and Multidisciplinary Optimization*, vol. 32, p. 1–11.

Mander, J. B., Priestley, M. J. N. e Park, R. (1988), «Observed Stress-Strain Behavior of Confined Concrete», *Journal of Structural Engineering*, vol. 114 (8), p. 1827–1849.

Martínez-Rueda, J. e Elnashai, A. (1997), «Confined concrete model under cyclic load», *Materials and Structures*, vol. 30, p. 139–147.

Menegotto, M. e Pinto, P. E. (1973), «Method of analysis for cyclically loaded R.C. plane frames including changes in geometry and non-elastic behaviour of elements under combined normal force and bending», in «IABSE reports of the working commissions», vol. 13, p. 15–22, IABSE.

Priestley, M. J. N., Seible, F. e Calvi, G. M. (1996), *Seismic Design and Retrofit of Bridges*, Wiley-Interscience.

9 Verifiche

9.1 Verifica degli spostamenti d'impalcato

Questa verifica era molto penalizzante con il DM 96, mentre è quasi sempre verificata con le NTC 2008.

Per questa ragione è conveniente eseguire il calcolo della struttura in condizioni fessurate assegnando alle trave un materiale con modulo elastico dimezzato e ai pilastri un modulo elastico ridotto al 75%. Si ottengono maggiori deformazioni e maggiori periodi con riduzione dell'azione sismica.

Le masse modali eccitate devono superare l'85% delle masse libere strutturali.

È da notare che spesso si presenta il caso con un piano seminterrato con muri perimetrali collegati a travi di fondazione o platee con nodi alla base vincolati alla traslazione. L'elevata rigidezza tagliante dei muri fa sì che sia impossibile raggiungere l'85% delle masse eccitate in quanto tali muri si traslano insieme al terreno. Allora la percentuale dell'85% sarebbe da imputare alle masse di quella parte di struttura che potrebbe subire incrementi di accelerazioni rispetto a quella del terreno, pertanto quando si incorre in tali casi è bene non includere nel conteggio delle masse quelle che restano ferme rispetto al terreno, quindi nel caso prospettato oltre alle masse della fondazione andrebbero escluse anche quelle dei muri e dei solai che poggiano su tali muri.

Per rendere questa verifica più agevole conviene assegnare tutte le fondazioni al gruppo "Fondazione" e disattivare questo gruppo dalle masse.

Nel caso in cui questo controllo sia negativo bisognerà aumentare i modi di vibrare e riprovare. Se la struttura ha muri controterra conviene selezionarli e assegnarli ad un nuovo gruppo, ad esempio "Muri". Disattivare le masse anche per questo gruppo. Se pur portando a oltre i 120-150 modi, le masse modali sono ancora inferiori all'85% delle masse strutturali, bisognerà necessariamente intervenire sulla struttura sempli-

ficandone il modello; ad esempio eliminando parti molto flessibili o parti molto rigide.

9.2 Verifica a torsione

$$\tau = \frac{M_t^{max}}{\psi a b^2}$$

dove ψ è funzione di a/b con $a>b$ per le sezioni rettangolari.
Aree di ferro:

$$A_{staffe} = \frac{2\int_0^{\Delta x} M_t}{2\Omega\sigma_f}$$

dove Ω è l'area del nucleo centrale, il numero di braccia è 2 e Δ_x è l'intervallo in cui è necessaria l'armatura.

$$A_{parete} = \frac{M_t^{max} 2p}{2\Omega\sigma_f}$$

dove 2p è il perimetro del nucleo centrale.

9.3 Verifica del plinto diretto

Siano B_x e B_y le dimensioni della base del plinto, b_x e b_y le dimensioni della base del pilastro e M_x e M_y le dimensioni del magrone. Le sollecitazioni σ_t sono calcolate con una verifica a pressoflessione (deviata o retta) della sezione $M_x \times M_y$ (magrone) non reagente a trazione soggetta allo scarico del pilastro, più il peso del plinto, più il peso del magrone.

Le interazioni plinto-magrone, usate nella verifica del plinto, sono calcolate con una verifica a pressoflessione (deviata o retta) della sezione $B_x \times B_y$ non reagente a trazione soggetta allo scarico del pilastro, più il peso del plinto.

La verifica delle mensole, in direzione X, avviene considerando il dominio definito dalle dimensioni: [larghezza b_x; altezza H - copriferro; lunghezza $(B_x - b_x)/2$] soggetto a flessione e taglio caricate con le interazioni plinto-magrone.

Per le mensole in direzione Y valgono analoghe considerazioni.

9.4 Verifica plinto a bicchiere

Nella verifica di questi plinti il programma verifica che siano soddisfatte le seguenti limitazioni:

- $H_b \geq 1.2h$ se $e \leq 0.15h$

- $H_b \geq 2h$ se $e \leq 2h$

dove:
H_b è l'altezza del bicchiere; $e = M/N$ nella direzione di verifica e h è la dimensione del pilastro nella stessa direzione.

Per i valori intermedi di e viene applicata l'interpolazione lineare tra i valori estremi, e cioè:

$$H_b = [1.2 + 0.8/1.85(e/h - 0.15)]h$$

In ogni caso $H_b \geq 50$ cm e lo spessore deve essere: $s \geq 10$ cm.

I lati interni della base del bicchiere devono essere maggiorati rispetto al pilastro di non meno di 6 cm, mentre in sommità la maggiorazione deve essere almeno di 10 cm.

9.5 Verifica plinto a bicchiere su pali

La verifica del plinto a bicchiere su pali consiste nella verifica di un plinto rettangolare su pali per la base del bicchiere, con le azioni trasportate alla base del bicchiere, e nella verifica del bicchiere per le azioni trasmesse dal pilastro al bicchiere.

9.6 Verifica a punzonamento

9.6.1 Plinto diretto o a bicchiere

Nella verifica a punzonamento bisogna considerare:

Forza resistente

$$F = u \cdot h \cdot \frac{f_{ctd}}{2}$$

dove:
f_{ctd} è la resistenza a trazione del calcestruzzo (§ 11.2.10.2 delle [NTC, 2008]);

u è il perimetro che si ottiene proiettando a 45° il contorno del pilastro a metà altezza del plinto e cioè (nel caso di plinto a bicchiere b_x e b_y sono le dimensioni del bicchiere):

$$u = 2(b_x + h + b_y + h)$$

dove:
h è lo spessore del plinto lungo il perimetro.

Forza di punzonamento

$$P = N^{max} - \sigma_t(b_x + h)(b_y + h)$$

dove:
N^{max} è lo sforzo normale massimo del pilastro.

Se la forza resistente è maggiore di quella di punzonamento non occorre armatura a punzonamento; in caso contrario bisognerà disporre le armature inclinate a 45° in grado di assorbire integralmente P e quindi $A_p = \frac{P\sqrt{2}}{\sigma_f}$.

Nel caso di plinti su pali, la forza di punzonamento è $P = N^{max}$.

9.7 Verifica dei pali

9.7.1 Palo soggetto a carichi verticali

Il carico limite di un palo sottoposto a carichi verticali in generale è costituito da due aliquote:

- R_l è la resistenza laterale
- R_p è la resistenza alla punta

Il carico di esercizio sarà dato da: $Q_e = (R_l + R_p)/\eta$.
Se indichiamo con:

- S_l la superficie laterale del palo
- A_p la superficie della sezione del palo alla punta
- η coefficiente di sicurezza.

Si ha in generale:

$$R_l = S_l \cdot \tau_l$$

$$R_p = A_p \cdot \sigma_p$$

dove:
τ_l è la tensione tangenziale laterale limite media;
σ_p è la pressione limite alla punta.

Per i terreni incoerenti

$$\tau_l = K\,\gamma\,L\,\frac{\tan\Phi}{2}$$

dove:
K è il coefficiente di pressione laterale (1/2);
γ è il peso per unità di volume;
L è la lunghezza del palo;
Φ è l'angolo di attrito.

$$\sigma_p = \gamma\,L\,N'_q$$

dove:
N'_q è funzione di L, Φ, e D (diametro) e per i grandi diametri ($D > 0.50$ m) è ridotto secondo *Berenzantzev*.

Per i terreni coesivi

$$\tau_l = a\ C'_U$$

dove:
C'_U è la coesione non drenata media lungo il palo;
a è il coefficiente di adesione tra terreno e palo.

$$\sigma_p = 9\ C_U$$

dove:
C_U è la coesione non drenata alla punta del palo.
I coefficienti adimensionali a e K sono funzione del tipo di palo (trivellato, battuto, in c.a., prefabbricato, ecc.).
Ad esempio, per un palo trivellato a assume valori da 0.4 a 0.6.

9.7.1.1 Note sul carico limite verticale dei pali

Le portate limite dei pali non sono sufficientemente attendibili se i parametri geotecnici che appaiono in tutte le formule statiche non sono desunte da prove di laboratorio valide o da dati sperimentali. Inoltre in genere si calcolano separatamente i valori massimi della resistenza laterale R_l e della resistenza alla punta R_p e poi si sommano. Normalmente i valori massimi non si verificano contemporaneamente in quanto può verificarsi che l'assestamento del terreno di sottofondo che provoca la massima resistenza alla punta può essere tale da superare il valore critico dell'attrito lungo il palo e rendere nullo o negativo il valore di R_l.

Quindi nella scelta del coefficiente di sicurezza bisogna tenere conto non solo della riduzione del carico limite così calcolato, ma anche dei criteri scelti per la determinazione dei parametri geotecnici del terreno.

In casi particolari di fondazioni importanti è bene eseguire una prova di carico diretta sul gruppo di pali.

Il progettista deve comunque tenere conto che se uno strato compressibile è interposto tra altri resistenti, non è possibile fare affidamento sull'attrito degli strati che lo precedono perché viene a mancare ad essi la base di appoggio; in questi casi il carico si trasmette interamente agli strati inferiori a quello compressibile e i pali vanno calcolati in queste condizioni. Una delle cause principali che provoca il cedimento dei pali è l'attrito negativo. Esso rappresenta l'azione tangenziale che il palo riceve per effetto del cedimento del terreno circostante o per assestamento naturale o per azioni di carichi applicati in superficie come rilevati stradali, rinterri, rampe di accesso a ponti, ecc., adiacenti alle costruzioni.

Il peso di un terrapieno di 5 m equivale a quello di un fabbricato per civili abitazioni di 30 m di altezza.

9.7.2 Palo soggetto a carichi orizzontali

La verifica a limite ultimo per pali sottoposti a forze orizzontali fa riferimento alla teoria di *Broms*, generalizzata al caso di terreno stratificato.

Ai fini della verifica del palo vanno definiti i seguenti valori:

f_{sk}: resistenza caratteristica dell'acciaio

γ_C: fattore di riduzione della resistenza del calcestruzzo (1.5)

γ_S: fattore di riduzione della resistenza dell'acciaio (1.15)

L'armatura del palo viene, in un primo momento, fissata come percentuale minima dell'area del calcestruzzo; in funzione di questa si determina il momento ultimo. Successivamente si determina la forza ultima o il momento ultimo agente sul palo e nel caso in cui questi non siano sufficienti si incrementa l'armatura del palo.

A riguardo si prendono in considerazione i seguenti casi:

- Terreno coerente - Palo libero in testa
- Terreno coerente - Palo vincolato in testa
- Terreno incoerente - Palo libero in testa
- Terreno incoerente - Palo vincolato in testa
- Tipo di rottura

9.7.2.1 Palo libero in testa

La rottura avviene secondo il meccanismo di:

- palo corto se cede il terreno, esso si comporta come un chiodo;
- palo lungo se cede il palo ad una certa profondità (cerniera plastica).

9.7.2.2 Palo vincolato in testa

La rottura avviene secondo il meccanismo di:

- palo corto se cede il terreno, comportamento a chiodo;
- palo intermedio se il palo ruota intorno ad un punto situato sotto la base e la rottura avviene quando il momento d'incastro supera il valore consentito che è quello di plasticizzazione.

- palo lungo se si formano due cerniere plastiche, l'una ad una certa profondità e l'altra all'incastro.

Qualitativamente il tipo di rottura è analogo sia per terreni *coerenti* che per terreni *incoerenti*.

9.7.2.3 Palo corto libero in testa e in terreni coesivi

Sia:

- e l'eccentricità del carico orizzontale H
- L la lunghezza d'infissione del palo
- D il diametro del palo
- C_U la coesione non drenata

Inoltre sia:

- $f + 1.5\,D$ la profondità dove si verifica il momento massimo
- g la parte di palo infissa sotto la sezione di momento massimo

Si hanno le seguenti equazioni:

$$f = H/9\,C_U \tag{9.1}$$

$$\begin{aligned} M_{max} &= H\,(e + 1.5\,D + f) - 9\,C_U D\,f^2/2 = \\ &= 9\,C_U\,D\,g^2/4 = 2.25\,C_U\,D\,g^2 \end{aligned} \tag{9.2}$$

$$L = 1.5\,D + f + g \tag{9.3}$$

La (9.1) rappresenta l'equilibrio all'azione orizzontale, la (9.2) l'equilibrio alla rotazione intorno al punto di momento massimo e la (9.3) l'equilibrio geometrico.

Note L, Cu, e, D si ricavano H, f, g.

Risulta:

$$\begin{aligned} H/C_U/D^2 = &-g\,[1.5 + L/D + 2 \cdot e/D] + \\ &+ g\left[2\,(L/D)^2 + 4\,(L/D)^2 + 4 \cdot L \cdot e/D + 6 \cdot e/D + 4.5\right]^{1/2} \end{aligned} \tag{9.4}$$

Deve comunque essere verificato che $M_{max} < M_{ultimo}$

9.7.2.4 Palo lungo libero in testa in terreni coesivi

Con le stesse notazioni si ha:

$$f = H/9\,C_U \tag{9.5}$$

$$M = H\,(e + 1.5\,D + f) - 9\,C_U D\,f^2/2 \tag{9.6}$$

analogamente le (9.5) e (9.6) rappresentano rispettivamente l'equilibrio all'azione orizzontale e l'equilibrio alla rotazione intorno al punto di momento massimo.

Dalla espressione, noti D, C_U e M_{ultimo} si ricavano f ed H_{lim}.

10 Calcolo e verifica delle murature

10.1 Verifica lineare delle murature

10.1.1 Dati d'ingresso

Per eseguire una verifica lineare di elementi murari occorre essere a conoscenza delle seguenti proprietà:

- Geometria
- Parametri meccanici dei materiali
- Peso specifico
- Caratteristiche meccaniche materiale unilaterale (muratura):
  - densità o peso specifico;
  - modulo di *Young* E;
  - modulo di elasticità tangenziale G o modulo di *Poisson* ν;
  - resistenza a compressione f_k;
- Caratteristiche meccaniche materiale bilaterale (ad es. calcestruzzo, acciaio, legno):
  - modulo di *Young* E;
  - modulo di elasticità tangenziale G o modulo di *Poisson* ν;

10.1.2 Dati per le verifiche di sicurezza

I valori delle caratteristiche meccaniche dei materiali da considerare al fine delle verifiche di sicurezza possono essere desunti dalla tabella C8A.2.1 nella pagina successiva in cui sono indicati i valori di riferimento che possono essere adottati nelle analisi, in funzione del livello di

conoscenza acquisito (vedi § C8A.1.A.4 [Circolare_617_NTC, 2009]). Il riconoscimento della tipologia muraria è condotto attraverso un dettagliato rilievo degli aspetti costruttivi (§ C8A.1.A.2 [Circolare_617_NTC, 2009]). È noto che la muratura presenta, a scala nazionale, una notevole varietà per tecniche costruttive e materiali impiegati ed un inquadramento in tipologie precostituite può risultare problematico. I moduli di elasticità normale E e tangenziale G sono da considerarsi relativi a condizioni non fessurate, per cui le rigidezze nel caso delle analisi lineari dovranno essere opportunamente ridotte.

Tabella C8A.2.1 – Valori di riferimento dei parametri meccanici (minimi e massimi) e peso specifico medio per diverse tipologie di muratura, riferiti alle seguenti condizioni: malta di caratteristiche scarse, assenza di ricorsi (listature), paramenti semplicemente accostati o mal collegati, muratura non consolidata, tessitura (nel caso di elementi regolari) a regola d'arte; f_m = resistenza media a compressione della muratura, τ_0 = resistenza media a taglio della muratura, E = valore medio del modulo di elasticità normale, G = valore medio del modulo di elasticità tangenziale, w = peso specifico medio della muratura.

Tipologia di muratura	f_m (N/cm^2)	τ_0 (N/cm^2)	E (N/mm^2)	G (N/mm^2)	w (kN/m^3)
	Min-max	min-max	min-max	min-max	
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	100 180	2,0 3,2	690 1050	230 350	19
Muratura a conci sbozzati, con paramento di limitato spessore e nucleo interno	200 300	3,5 5,1	1020 1440	340 480	20
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	260 380	5,6 7,4	1500 1980	500 660	21
Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	140 240	2,8 4,2	900 1260	300 420	16
Muratura a blocchi lapidei squadrati	600 800	9,0 12,0	2400 3200	780 940	22
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	240 400	6,0 9,2	1200 1800	400 600	18
Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es.: doppio UNI foratura ≤ 40%)	500 800	24 32	3500 5600	875 1400	15
Muratura in blocchi laterizi semipieni (perc. foratura < 45%)	400 600	30,0 40,0	3600 5400	1080 1620	12
Muratura in blocchi laterizi semipieni, con giunti verticali a secco (perc. foratura < 45%)	300 400	10,0 13,0	2700 3600	810 1080	11
Muratura in blocchi di calcestruzzo o argilla espansa (perc. foratura tra 45% e 65%)	150 200	9,5 12,5	1200 1600	300 400	12
Muratura in blocchi di calcestruzzo semipieni (foratura < 45%)	300 440	18,0 24,0	2400 3520	600 880	14

Nel caso delle *murature storiche*, i valori indicati nella Tabella C8A.2.1 (relativamente alle prime sei tipologie) sono da riferirsi a condizioni di muratura con malta di scadenti caratteristiche, giunti non particolarmente sottili ed in assenza di ricorsi o listature che, con passo costante, regolarizzino la tessitura ed in particolare l'orizzontalità dei corsi. Inoltre si

assume che, per le murature storiche, queste siano a paramenti scollegati, ovvero manchino sistematici elementi di connessione trasversale (o di ammorsamento per ingranamento tra i paramenti murari). I valori indicati per le murature regolari sono relativi a casi in cui la tessitura rispetta la regola dell'arte. Nei casi di tessitura scorretta (giunti verticali non adeguatamente sfalsati, orizzontalità dei filari non rispettata), i valori della tabella devono essere adeguatamente ridotti. Nel caso in cui la muratura presenti caratteristiche migliori rispetto ai suddetti elementi di valutazione, le caratteristiche meccaniche saranno ottenute, a partire dai valori di Tabella C8A.2.1 nella pagina precedente, applicando coefficienti migliorativi fino ai valori indicati nella Tabella C8A.2.2 a pagina 65, secondo le seguenti modalità:

- malta di buone caratteristiche: si applica il coefficiente indicato in Tabella C8A.2.2 a pagina 65, diversificato per le varie tipologie, sia ai parametri di resistenza (f_m e τ_0), sia ai moduli elastici (E e G);

- giunti sottili (< 10 mm): si applica il coefficiente, diversificato per le varie tipologie, sia ai parametri di resistenza (f_m e τ_0), sia ai moduli elastici (E e G); nel caso della resistenza a taglio l'incremento percentuale da considerarsi è metà rispetto a quanto considerato per la resistenza a compressione; nel caso di murature in pietra naturale è opportuno verificare che la lavorazione sia curata sull'intero spessore del paramento.

- presenza di ricorsi (o listature): si applica il coefficiente indicato in tabella ai soli parametri di resistenza (f_m e τ_0); tale coefficiente ha significato solo per alcune tipologie murarie, in quanto nelle altre non si riscontra tale tecnica costruttiva;

- presenza di elementi di collegamento trasversale tra i paramenti: si applica il coefficiente indicato in tabella ai soli parametri di resistenza (f_m e τ_0); tale coefficiente ha significato solo per le murature storiche, in quanto quelle più recenti sono realizzate con una specifica e ben definita tecnica costruttiva ed i valori in Tabella C8A.2.1 a fronte rappresentano già la possibile varietà di comportamento.

Le diverse tipologie di Tabella C8A.2.1 nella pagina precedente assumono che la muratura sia costituita da due paramenti accostati, o con un nucleo interno di limitato spessore (inferiore allo spessore del paramento); fanno eccezione il caso della muratura a conci sbozzati, per la quale è implicita la presenza di un nucleo interno (anche significativo ma di discrete caratteristiche), e quello della muratura in mattoni pieni, che spesso presenta un nucleo interno con materiale di reimpiego reso coeso. Nel caso in cui il nucleo interno sia ampio rispetto ai paramenti e/o particolarmente scadente, è opportuno ridurre opportunamente i parametri di resistenza e deformabilità, attraverso una omogeneizzazione delle caratteristiche meccaniche nello spessore. In assenza di valutazioni più

accurate è possibile penalizzare i suddetti parametri meccanici attraverso il coefficiente indicato in Tabella C8A.2.2 a fronte.

In presenza di *murature consolidate*, o nel caso in cui si debba valutare la sicurezza dell'edificio rinforzato, è possibile valutare le caratteristiche meccaniche per alcune tecniche di intervento, attraverso i coefficienti indicati in Tabella C8A.2.2 nella pagina successiva, secondo le seguenti modalità:

- consolidamento con iniezioni di miscele leganti: si applica il coefficiente indicato in tabella, diversificato per le varie tipologie, sia ai parametri di resistenza (f_m e τ_0), sia ai moduli elastici (E e G); nel caso in cui la muratura originale fosse stata classificata con malta di buone caratteristiche, il suddetto coefficiente va applicato al valore di riferimento per malta di scadenti caratteristiche, in quanto il risultato ottenibile attraverso questa tecnica di consolidamento è, in prima approssimazione, indipendente dalla qualità originaria della malta (in altre parole, nel caso di muratura con malta di buone caratteristiche, l'incremento di resistenza e rigidezza ottenibile è percentualmente inferiore);

- consolidamento con intonaco armato: per definire parametri meccanici equivalenti è possibile applicare il coefficiente indicato in tabella, diversificato per le varie tipologie, sia ai parametri di resistenza (f_m e τ_0), sia ai moduli elastici (E e G); per i parametri di partenza della muratura non consolidata non si applica il coefficiente relativo alla connessione trasversale, in quanto l'intonaco armato, se correttamente eseguito collegando con barre trasversali uncinate i nodi delle reti di armatura sulle due facce, realizza, tra le altre, anche questa funzione. Nei casi in cui le connessioni trasversali non soddisfino tale condizione, il coefficiente moltiplicativo dell'intonaco armato deve essere diviso per il coefficiente relativo alla connessione trasversale riportato in tabella;

- consolidamento con diatoni artificiali: in questo caso si applica il coefficiente indicato per le murature dotate di una buona connessione trasversale. I valori sopra indicati per le murature consolidate possono essere considerati come riferimento nel caso in cui non sia comprovata, con opportune indagini sperimentali, la reale efficacia dell'intervento e siano quindi misurati, con un adeguato numero di prove, i valori da adottarsi nel calcolo.

10.1.3 Verifiche di sicurezza nel caso di analisi lineare statica o dinamica modale

Le [NTC, 2008] nella parte che si riferisce in generale alle strutture in muratura al punto § 4.5.6 precisa che le verifiche di sicurezza sono

Tabella C8A.2.2 – Coefficienti correttivi dei parametri meccanici (indicati in C8A.2.1 a pagina 62) da applicarsi in presenza di: malta di caratteristiche buone o ottime; giunti sottili; ricorsi o listature; sistematiche connessioni trasversali; nucleo interno particolarmente scadente e/o ampio; consolidamento con iniezioni di malta; consolidamento con intonaco armato.

Tipologia di muratura	Malta buona	Giunti sottili (<10 mm)	Ricorsi o listature	Connessione trasversale	Nucleo scadente e/o ampio	Iniezione di miscele leganti	Intonaco armato *
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	1,5	-	1,3	1,5	0,9	2	2,5
Muratura a conci sbozzati, con paramen-to di limitato spessore e	1,4	1,2	1,2	1,5	0,8	1,7	2
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	1,3	-	1,1	1,3	0,8	1,5	1,5
Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	1,5	1,5	-	1,5	0,9	1,7	2
Muratura a blocchi lapidei squadrati	1,2	1,2	-	1,2	0,7	1,2	1,2
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	1,5	1,5	-	1,3	0,7	1,5	1,5

* Valori da ridurre convenientemente nel caso di pareti di notevole spessore (p.es. > 70 cm).

condotte con l'ipotesi di conservazione delle sezioni piane e trascurando la resistenza a trazione per flessione della muratura. Si precisa ancora che oltre alle verifiche sulle pareti portanti, si deve eseguire anche la verifica di travi di accoppiamento in muratura ordinaria, quando prese in considerazione dal modello della struttura. Tali verifiche si eseguono in analogia a quanto previsto per i pannelli murari verticali.

Al punto § 4.5.6.1 si richiamano i valori delle resistenze di progetto da impiegare, rispettivamente, per le verifiche a compressione, pressoflessione e a carichi concentrati (f_d), e a taglio (f_{vd}):

$$f_d = f_k/\gamma_M \tag{4.5.2}$$

$$f_{vd} = f_{vk}/\gamma_M \tag{4.5.3}$$

dove

f_k è la resistenza caratteristica a compressione della muratura; f_{vk} è la resistenza caratteristica a taglio della muratura in presenza delle effettive tensioni di compressione, valutata con:

$$f_{vk} = f_{vk0} + 0,4\,\sigma_n \tag{4.5.4}$$

in cui f_{vk0} è definita al punto § 4.5.3 e σ_n è la tensione normale media dovuta ai carichi verticali agenti sulla sezione di verifica; γ_M è il coefficiente parziale di sicurezza sulla resistenza a compressione della muratura, comprensivo delle incertezze di modello e di geometria, fornito dalla norma alla Tabella 4.5.II nella pagina successiva, in funzione delle classi di esecuzione più avanti precisate, e a seconda che gli elementi resistenti utilizzati siano di categoria I o di categoria II (vedi § 11.10.1 [NTC, 2008]).

Tabella 4.5.II – Valori del coefficiente γ_M in funzione della classe di esecuzione e della categoria degli elementi resistenti

Materiale	Classe di esecuzione	
	1	2
Muratura con elementi resistenti di categoria I, malta a prestazione garantita	2,0	2,5
Muratura con elementi resistenti di categoria I, malta a composizione prescritta	2,2	2,7
composizione prescritta	2,5	3,0

L'attribuzione delle Classi di esecuzione 1 e 2 viene effettuata adottando quanto di seguito indicato. In ogni caso occorre (Classe 2):

- disponibilità di specifico personale qualificato e con esperienza, dipendente dell'impresa esecutrice, per la supervisione del lavoro (capocantiere);
- disponibilità di specifico personale qualificato e con esperienza, indipendente dall'impresa esecutrice, per il controllo ispettivo del lavoro (direttore dei lavori).

La Classe 1 è attribuita qualora siano previsti, oltre ai controlli di cui sopra, le seguenti operazioni di controllo:

- controllo e valutazione in loco delle proprietà della malta e del calcestruzzo;
- dosaggio dei componenti della malta "a volume" con l'uso di opportuni contenitori di misura e controllo delle operazioni di miscelazione o uso di malta premiscelata certificata dal produttore.

Le [NTC, 2008] nella parte generale riguardante le strutture in muratura richiamano al § 4.5.6.2 le verifiche di sicurezza da effettuare nei confronti degli stati limite ultimi e che riguardano in particolare:

- presso flessione per carichi laterali (resistenza e stabilità fuori dal piano);
- presso flessione nel piano del muro;
- taglio per azioni nel piano del muro;
- carichi concentrati;
- flessione e taglio di travi di accoppiamento.

Sempre al § 4.5.6.2 [NTC, 2008] si richiama anche l'eventualità che tali verifiche vanno condotte con riferimento a normative di comprovata validità. Inoltre con riferimento alla sola verifica a presso flessione per carichi laterali nel caso di adozione dell'ipotesi di articolazione completa delle estremità della parete (§ 4.5.5 [NTC, 2008]) la norma consente anche

di far riferimento al metodo semplificato basato sulla determinazione di una resistenza ridotta che tiene conto delle varie eccentricità.
Al successivo punto § 4.5.6.3 [NTC, 2008] riguardante le verifiche agli stati limite di esercizio la norma precisa che non è generalmente necessario eseguire verifiche nei confronti di stati limite di esercizio di strutture di muratura, quando siano soddisfatte le verifiche nei confronti degli stati limite ultimi. Inoltre nel caso della muratura armata, e per particolari situazioni della muratura non armata, ci si dovrà sempre riferire a norme tecniche di comprovata validità.
Infine al punto § 4.5.6.4 [NTC, 2008] sono riportate le verifiche alle tensioni ammissibili che in via semplificativa possono essere svolte nel caso di edifici semplici.

10.1.3.1 Presso flessione fuori piano

Al punto § 7.8.2.2.3 [NTC, 2008] viene richiamata la modalità di verifica a pressoflessione fuori piano. In particolare il valore del momento di collasso per azioni perpendicolari al piano della parete è calcolato assumendo un diagramma delle compressioni rettangolare, un valore della resistenza pari a 0,85 f_d e trascurando la resistenza a trazione della muratura.

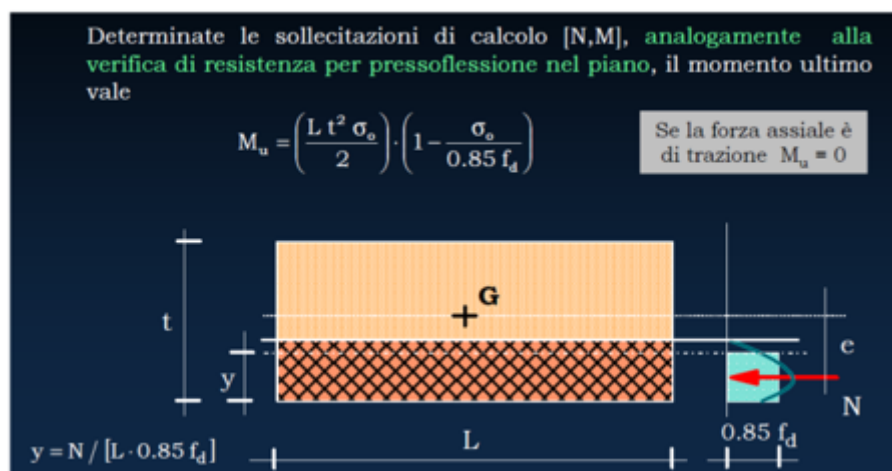



Figura 10.1 – Presso flessione fuori piano

In particolare N rappresenta lo sforzo normale della parete nelle condizioni di esercizio mentre M è il valore della caratteristica della sollecitazione flettente fuori dal piano che può essere determinato secondo le indicazioni seguenti. In particolare nel paragrafo della norma relativo all'impiego dell'analisi statica lineare per le strutture in muratura (§ 7.8.1.5.2 [NTC, 2008]) si richiama l'opportunità di effettuare verifiche fuori piano delle pareti sulla base di un modello semplificato in cui la singola parete collegata alle estremità con vincoli tipo cerniera è caricata con le forze equivalenti indicate al § 7.2.3 [NTC, 2008] per gli elementi non strutturali. Più precisamente l'azione sismica ortogonale alla parete

può essere rappresentata da una forza orizzontale distribuita, pari a S_a/q_a volte il peso della parete nonché da forze orizzontali concentrate pari a S_a/q_a volte il peso trasmesso dagli orizzontamenti che si appoggiano sulla parete, qualora queste forze non siano efficacemente trasmesse a muri trasversali disposti parallelamente alla direzione del sisma. Per le pareti resistenti al sisma, che rispettano i limiti di Tabella 7.8.II, si può assumere che il periodo T_a indicato al § 7.2.3 [NTC, 2008] sia pari a 0. Per pareti con caratteristiche diverse la verifica fuori piano va comunque condotta valutando, anche in forma approssimata, T_a.

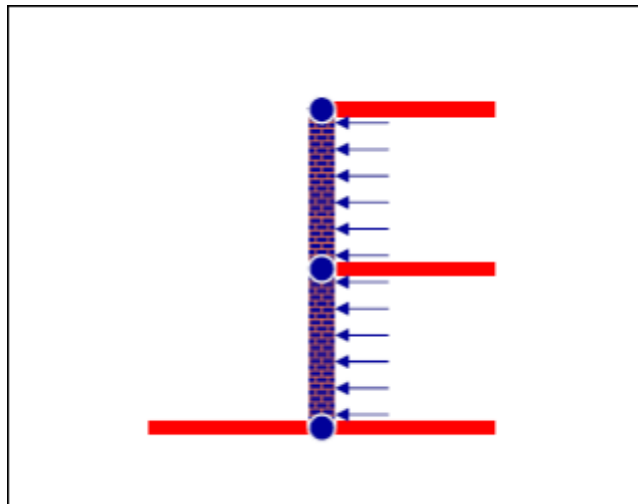



Figura 10.2 – Schema statico di riferimento per il calcolo del momento flettente fuori dal piano

La definizione di detta azione orizzontale possono essere determinati applicando agli elementi detti una forza orizzontale F_a definita come segue:

$$F_a = (S_a/W_a)/q_a \tag{7.2.1}$$

dove
F_a è la forza sismica orizzontale agente al centro di massa dell'elemento non strutturale nella direzione più sfavorevole; W_a è il peso dell'elemento; S_a è l'accelerazione massima, adimensionalizzata rispetto a quella di gravità, che l'elemento strutturale subisce durante il sisma e corrisponde allo stato limite in esame (vedi § 3.2.1 [NTC, 2008]); q_a è il fattore di struttura dell'elemento.

In assenza di specifiche determinazioni, per q_a si possono assumere i valori riportati nella Tabella 7.2.I a fronte.

In mancanza di analisi più accurate S_a può essere calcolato nel seguente modo:

$$S_a = \alpha \cdot S \cdot \left[\frac{3 \cdot (1 + Z/H)}{1 + (1 - T_a/T_1)^2} - 0,5 \right] \tag{7.2.2}$$

Tabella 7.2.I – Valori di q_a per elementi non strutturali

Elemento non strutturale	q_a
Parapetti o decorazioni aggettanti	1,0
Insegne e pannelli pubblicitari	
Ciminiere, antenne e serbatoi su supporti funzionanti come mensole senza controventi per più di metà della loro altezza	
Pareti interne ed esterne	2,0
Tramezzature e facciate	
Ciminiere, antenne e serbatoi su supporti funzionanti come mensole non controventate per meno di metà della loro altezza o connesse alla struttura in corrispondenza o al di sopra del loro centro di massa	
Elementi di ancoraggio per armadi e librerie permanenti direttamente poggianti sul pavimento	
Elementi di ancoraggio per controsoffitti e corpi illuminanti	

dove:
α è il rapporto tra l'accelerazione massima del terreno a_g su sottosuolo tipo A da considerare nello stato limite in esame (vedi § 3.2.1 [NTC, 2008]) e l'accelerazione di gravità g;
S è il coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche secondo quanto riportato nel § 3.2.3.2.1 [NTC, 2008];
T_a è il periodo fondamentale di vibrazione dell'elemento non strutturale;
T_1 è il periodo fondamentale di vibrazione della costruzione nella direzione considerata;
Z è la quota del baricentro dell'elemento non strutturale misurata a partire dal piano di fondazione (vedi § 3.2.2 [NTC, 2008]);
H è l'altezza della costruzione misurata a partire dal piano di fondazione.
Il valore del coefficiente sismico S_a non può essere assunto minore di αS.

La definizione del periodo fondamentale T_a potrebbe essere condotta considerando la parete come un sistema continuo con proprietà distribuite e facendo riferimento ad uno schema di trave semplicemente appoggiata agli estremi così come suggerito dalla norma. In tale caso specifico il valore del periodo fondamentale T_a vale:

$$T_a = \frac{2}{\pi}\sqrt{\frac{m\,L}{E\,I}}$$

in cui:
L è l'altezza della parete da verificare;
$E\,I$ è la rigidezza flessionale della parete nella direzione considerata.
Al punto § 7.8.1.5.3 [NTC, 2008] della norma si precisa che anche nel caso di impiego di analisi dinamica modale le verifiche fuori piano possono essere effettuate separatamente, adottando le stesse forze equivalenti indicate per l'analisi statica lineare.

10.1.3.2 Presso flessione nel piano del muro

Al punto § 7.8.2.2.1 [NTC, 2008] delle norme è richiamata la modalità di verifica a pressoflessione di una sezione di un elemento strutturale in muratura che si effettua confrontando il momento agente di calcolo con il momento ultimo resistente calcolato assumendo la muratura non reagente a trazione ed una opportuna distribuzione non lineare delle

compressioni. Nel caso di una sezione rettangolare tale momento ultimo può essere calcolato come:

$$M_u = (1^2\, t\, \sigma_0/2)(1 - \sigma_0/0,85\, f_d) \tag{7.8.2}$$

dove:
M_u è il momento corrispondente al collasso per pressoflessione;
l è la lunghezza complessiva della parete (inclusiva della zona tesa);
t è lo spessore della zona compressa della parete;
σ_0 è la tensione normale media, riferita all'area totale della sezione ($P = N/(l \cdot t)$, con N forza assiale agente positiva se di compressione). Se P è di trazione, $M_u = 0$.
$f_d = f_k/\gamma_M$ è la resistenza a compressione di calcolo della muratura.

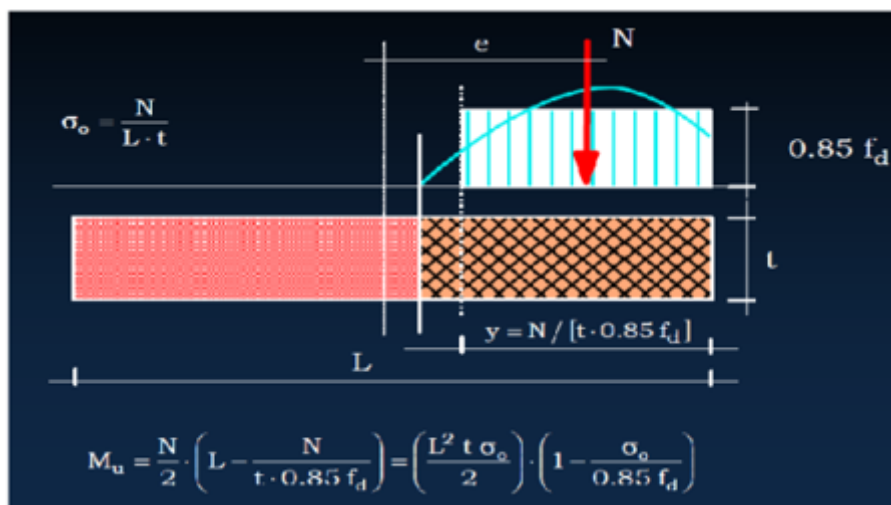



Figura 10.3 – Presso flessione nel piano del muro

In caso di analisi statica non lineare, la resistenza a pressoflessione può essere calcolata ponendo f_d pari al valore medio della resistenza a compressione della muratura, e lo spostamento ultimo può essere assunto pari allo 0,8% dell'altezza del pannello.

10.1.3.3 Taglio per azioni nel piano del muro

Al punto § 7.8.2.2.2 [NTC, 2008] è richiamata la verifica a taglio nel piano per gli elementi strutturali in muratura. In particolare la resistenza a taglio di ciascun elemento strutturale è valutata per mezzo della relazione seguente:

$$V_t = L_1\, t\, f_{vd} \tag{7.8.3}$$

dove:
L_1 è la lunghezza della parte compressa della parete;
t è lo spessore della parete;
$f_{vd} = f_{vk}/\gamma_M$ è definito al § 4.5.6.1 [NTC, 2008], calcolando la tensione normale media (indicata con σ_n nel paragrafo citato) sulla parte compressa della sezione ($\sigma_n = N/(L_1\ t)$).

Il valore di f_{vk} non può comunque essere maggiore di 1,4 f_{bk}, dove f_{bk} indica la resistenza caratteristica a compressione degli elementi nella direzione di applicazione della forza, né maggiore di 1,5 MPa.

Per il calcolo della resistenza a taglio unitaria, la tensione normale σ_0 è pari alla compressione media della zona reagente. La lunghezza L_1 di detta zona reagente con riferimento ad una sezione soggetta ad una forza assiale N con eccentricità $e > L/6$, sotto l'ipotesi di distribuzione lineare delle compressioni, è data da:

$$L_1 = 3 \cdot (\frac{L}{2} - \frac{M}{N})$$

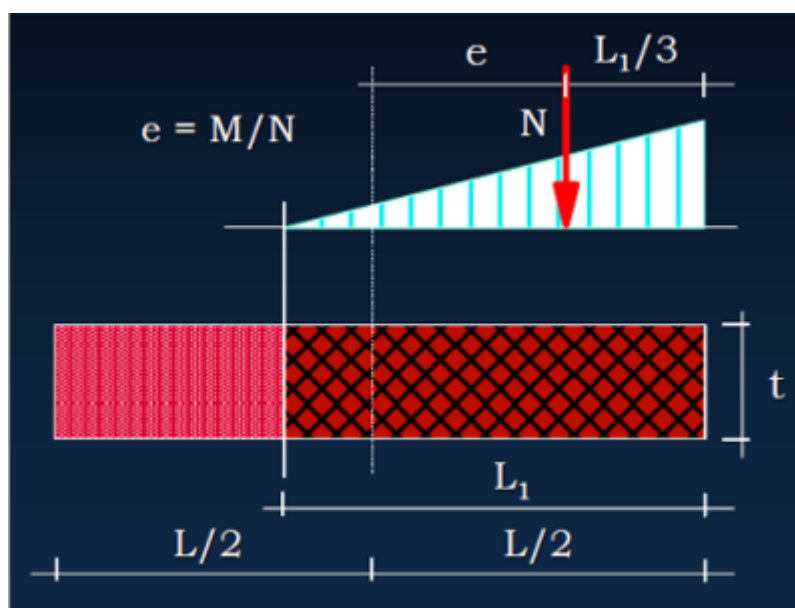



Figura 10.4 – Taglio per azioni nel piano del muro

> *In caso di analisi statica non lineare, la resistenza a taglio può essere calcolata ponendo $f_{vd} = f_{vm0} + 0,4\ \sigma_n$ con f_{vm0} resistenza media a taglio della muratura (in assenza di determinazione diretta si può porre $f_{vm0} = f_{vk0}/0,7$), e lo spostamento ultimo può essere assunto pari allo 0,4% dell'altezza del pannello. Il valore di f_{vd} non può comunque essere maggiore di 2,0 f_{bk} né maggiore di 2,2 MPa.*

10.1.3.4 Flessione e taglio di travi di accoppiamento

Al punto § 7.8.2.2.4 [NTC, 2008] vengono richiamate le verifiche di travi di accoppiamento in muratura ordinaria. In particolare in presenza di azione assiale orizzontale nota, la verifica viene effettuata in analogia a quanto previsto per i pannelli murari verticali. Qualora l'azione assiale non sia nota dal modello di calcolo (ad es. quando l'analisi è svolta su modelli a telaio con l'ipotesi di solai infinitamente rigidi nel piano), ma siano presenti, in prossimità della trave in muratura, elementi orizzontali dotati di resistenza a trazione (catene, cordoli), i valori delle resistenze possono essere assunti non superiori ai valori di seguito riportati ed associati ai meccanismi di rottura per taglio o per pressoflessione.

La resistenza a taglio Vt di travi di accoppiamento in muratura ordinaria in presenza di un cordolo di piano o di un architrave resistente a flessione efficacemente ammorsato alle estremità, può essere calcolata in modo semplificato come:

$$V_t = h\ t\ f_{vd} \tag{7.8.4}$$

dove:
h è l'altezza della sezione della trave;
$f_{vd0} = f_{vk0}/\gamma_M$ è la resistenza di calcolo a taglio in assenza di compressione;

Nel caso di analisi statica non lineare la resistenza f_{vd0} può essere posta pari al valore medio ($f_{vd0} = f_{vm0}$).

Il massimo momento resistente, associato al meccanismo di pressoflessione, sempre in presenza di elementi orizzontali resistenti a trazione in grado di equilibrare una compressione orizzontale nelle travi in muratura, può essere valutato come:

$$M_u = H_p \cdot h/2\ [1 - H_p/(0,85 f_{hd} \cdot h \cdot t)] \tag{7.8.5}$$

dove:
H_p è il minimo tra la resistenza a trazione dell'elemento teso disposto orizzontalmente ed il valore 0,4 $f_{hd}\ h\ t$;
$f_{hd} = f_{hk}/\gamma_M$ è la resistenza di calcolo a compressione della muratura in direzione orizzontale (nel piano della parete).

Nel caso di analisi statica non lineare essa può essere posta uguale al valore medio ($f_{hd} = f_{hm}$).

La resistenza a taglio, associata a tale meccanismo, può essere calcolata come:

$$V_p = 2\,M_u/l \qquad (7.8.6)$$

dove:
l è la luce libera della trave in muratura.

Il valore della resistenza a taglio per l'elemento trave in muratura ordinaria è assunto pari al minimo tra V_t e V_p.

Bibliografia

Circolare_617_NTC (2009), «Istruzioni per l'applicazione delle Nuove norme tecniche per le costruzioni di cui al DM 14 gennaio 2008», Pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n. 47 del 26 febbraio 2009.

NTC (2008), «Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni», Pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n. 29 del 4 febbraio 2008.

11 Calcolo e verifica del legno

11.1 Introduzione

Al giorno d'oggi le strutture in legno stanno riappropriandosi di un ruolo che in Italia, al contrario del resto d'Europa e dell'America settentrionale, avevano perduto a favore di materiali più recenti quali l'acciaio e, soprattutto, il calcestruzzo armato.

Il legno, come materiale da costruzione, è infatti tornato alla ribalta negli ultimi decenni con l'affermarsi delle nuove tecnologie che tendono a superare alcune note limitazioni di utilizzo e di impiego (principalmente prestazioni, dimensioni, disponibilità sul mercato), esaltandone al contrario le caratteristiche vantaggiose rispetto agli altri materiali tipici dell'edilizia come il calcestruzzo e l'acciaio. Infatti, il ridursi della disponibilità del legno e lo scarso rendimento (a volte inferiore al 70%) della trasformazione dei tronchi in tavole, hanno dato l'impulso allo sviluppo di prodotti a base di legno, capaci di soddisfare la richiesta di componenti in forma di lastra o foglio nei vari settori di mercato. Il concetto di base è quello di ridurre il tronco in elementi di dimensioni ridotte e "rimontare" questi ultimi utilizzando opportuni adesivi ottenendo un materiale che, essendo "artificiale" è di prevedibile comportamento rispetto al legno massiccio.

L'interesse per il materiale legno è testimoniato da importanti realizzazioni nel settore delle grandi coperture e da una rinnovata sensibilità nell'affrontare l'importante settore del consolidamento statico di costruzioni esistenti nelle quali il legno costituisce, quasi sempre, importante ed essenziale parte della struttura.

La progettazione strutturale di un organismo edilizio attiene a tutta una serie di problematiche: la fase di dimensionamento e di verifica degli elementi strutturali per carichi statici e dinamici rappresenta solo una di queste problematiche, peraltro assai importante.

Esistono infatti altre importanti tematiche trattate in altri capitoli, come: la concezione strutturale dell'edificio; le fasi di produzione, trasporto e montaggio; la "progettazione" della durabilità e dei dettagli costruttivi;

le cosiddette “progettazioni” antincendio e antisismica; le prescrizioni d’uso e manutenzione.

Una concezione strutturale unitaria dell’edificio, che passa anche attraverso un opportuno predimensionamento degli elementi strutturali principali, risulta necessaria, nel rispetto delle esigenze architettoniche e funzionali, per un corretto proporzionamento degli elementi strutturali principali, anche al fine di una efficace risposta globale dell’edificio di fronte a sollecitazioni “eccezionali” (sisma e fuoco).

La progettazione dei dettagli strutturali risulta fondamentale, per esempio, come si vedrà nel capitolo dedicato al comportamento nei riguardi del sisma, per garantire una buona risposta duttile globale dell’edificio.

La progettazione dei dettagli costruttivi consente una protezione passiva contro il naturale biodegradamento del materiale, e quindi consente di garantire una “aspettativa di vita” della struttura compatibile con le esigenze funzionali ed economiche che ne hanno determinato la realizzazione.

La progettazione di strutture in legno di grandi dimensioni risulta strettamente legata, più di quanto avviene per altri materiali da costruzione, alle problematiche di produzione, di trasporto e di montaggio (non è un caso che i più importanti studi di progettazione di strutture in legno, almeno in Italia, siano proprio gli studi tecnici dei produttori di legno lamellare).

Sotto la voce calcolo degli elementi strutturali si inquadrano, usualmente, tutte le operazioni di progettazione e di verifica degli elementi della struttura portante, applicando i principi della scienza e della tecnica delle costruzioni nel quadro della sicurezza strutturale garantita dal rispetto delle prescrizioni riportate in normativa. Particolare attenzione va dedicata alle unioni sia perché costituiscono l’elemento essenziale per la realizzazione di una struttura che è naturalmente prefabbricata, sia perché i collegamenti molto spesso, possono causare il successo o, purtroppo, l’insuccesso di una costruzione.

11.2 Inquadramento normativo

Il 1 luglio 2009 entra in vigore il Decreto del Ministero delle Infrastrutture 14 gennaio 2008 recante “Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni”.

Dopo molteplici proroghe, l’applicazione delle Nuove norme tecniche è resa possibile dall’articolo 1-bis inserito nel decreto-legge 28 aprile 2009, n. 39 dalla legge di conversione 24 giugno 2009, n. 77.

Le nuove norme hanno avuto, in verità una vita, a dir poco, difficile a causa delle ondivaghe determinazioni dei governi che si sono succeduti dal 2003 ad oggi ed, infatti, volendone tracciare una minimo di storia possiamo ricordare che:

- A seguito del terremoto del Molise dove a San Giuliano di Puglia si verificò il crollo di una scuola con la morte di 27 bambini e di una maestra, la protezione civile emise l'Ordinanza n.3274 del 20/03/2003 che, in qualche maniera è stata propedeutica all'emanazione delle nuove norme ma che, in verità, non è stata mai obbligatoria.

- In riferimento a quanto previsto dall'articolo 83 del D.P.R. 6 giugno 2001, n. 380, il Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti emanò il Decreto 14/9/2005 recante "Norme tecniche per le costruzioni" mai entrato compiutamente in vigore per successivi provvedimenti di rinvio.

- Con il decreto del Ministero delle Infrastrutture 14/1/2008 furono emanate le nuove norme tecniche in sostituzione di quelle di cui al D.M. 14/9/2005 con la particolarità che sino al 30 giugno scorso è stato possibile applicare, a discrezione del progettista, sia il D.M. 14/9/2005, che il D.M. 14/1/2008 che le norme antecedenti.

- Con il decreto del Ministero delle Infrastrutture 14/1/2008 furono approvate le Norme tecniche per le costruzioni, ad esclusione delle tabelle 4.4.III e 4.4.IV e del Capitolo 11.7, concernenti il legno, oggetto del parere circostanziato emesso dall'Austria ai sensi dell'art. 9.2 della direttiva 98/34/CE, secondo il quale la misura proposta avrebbe presentato aspetti che avrebbero potuto eventualmente creare ostacoli alla libera circolazione dei servizi o alla libertà di stabilimento degli operatori di servizi nell'ambito del mercato interno.

- Con il Decreto del Ministero delle Infrastrutture 6 maggio 2008 recante Integrazione al decreto 14 gennaio 2008 di approvazione delle nuove Norme tecniche per le costruzioni", pubblicato sulla Gazzetta ufficiale n. 153 dello scorso 2 luglio 2008 vengono approvati il capitolo 11.7 e le tabelle 4.4.III e 4.4.IV del testo aggiornato delle norme tecniche per le costruzioni allegate al decreto ministeriale 14 gennaio 2008, pubblicato nella Gazzetta Ufficiale n. 29 del 24 febbraio 2008 - supplemento ordinario n. 30. Tale decreto è stato emanato dal Ministro delle Infrastrutture in considerazione del fatto che l'Ufficio legislativo, con la nota prot. n. 0001789 del 15 febbraio 2008, aveva formulato, per il tramite del Ministero dello sviluppo economico, alla Commissione Europea la risposta dell'Italia in ordine al citato "parere circostanziato" senza che sino alla scadenza del termine fissato del 20 marzo scorso sia stato dato nessun ulteriore seguito da parte della Commissione europea in merito alla suddetta risposta.

- L'entrata in vigore del decreto del Ministero delle Infrastrutture 14/1/2008 è stata prorogata sino al 30 giugno 2010, per ultimo con il comma 1-septies dell'articolo 29 del decreto legge 30 dicembre 2008, n. 207 convertito dalla legge 28 febbraio 2009, n. 31.

- Successivamente all'ultima proroga sino al 30 giugno 2010 è stata emanata la Circolare del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti 2 febbraio 2009, n. 617 recante Istruzioni per l'applicazione delle Nuove norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008; con la pubblicazione della Circolare del Ministero delle Infrastrutture n. 617 del 2 febbraio 2009 recante le Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14/1/2008, le nuove norme tecniche possono essere completamente operative ed il Governo, utilizzando la legge per l'Abruzzo, ha inserito nella stessa l'anticipazione al 30 giugno 2009 della scadenza del periodo transitorio originariamente previsto al 30 giugno 2010.

Le Norme tecniche contenute nel D.M. 14 gennaio 2008 (NTC) sono, quindi, completamente operative perché nello scorso mese di febbraio è stata pubblicata sulla Gazzetta ufficiale la Circolare del Ministero delle Infrastrutture n. 617 del 2 febbraio 2009 recante le istruzioni per l'applicazione delle Nuove norme tecniche per le costruzioni e, quindi, la precedente proroga fissata sino al 30 giugno 2010 non avrebbe più avuto alcun senso.

Con l'entrata in vigore delle nuove norme tecniche cambia la filosofia di tutte le verifiche ed il testo normativo fornisce una serie di indicazioni inerenti le procedure di calcolo e di verifica delle strutture, nonché regole di progettazione ed esecuzione delle opere.

In merito alle strutture in legno, è possibile utilizzare il capitolo 11.7 che riguarda i materiali ed i prodotti a base di legno ed in particolare il legno massiccio, il legno strutturale con giunta a dita ed il legno lamellare incollato senza dover più ricorrere a norme estere.

Ricordiamo, anche, che nel paragrafo 11.7.10 sono riportate le procedure di qualificazione e accettazione con indicazioni specifiche per l'identificazione e rintracciabilità dei prodotti qualificati, le forniture e la documentazione di accompagnamento ed i prodotti provenienti dall'estero.

L'impostazione generale relativa alla valutazione della sicurezza delle strutture di legno di nuova costruzione predisposta dalla NTC può essere utilizzata anche per le strutture di legno esistenti purché si provveda ad una attenta valutazione delle caratteristiche fisiche e meccaniche del legno con metodi di prova diretti o indiretti. I calcoli, riferiti alle reali dimensioni geometriche degli elementi in sito, dovranno tener opportunamente conto dei difetti del legno, degli eventuali stati di degrado, delle condizioni effettive dei vincoli e dei collegamenti (§ 4.4 [NTC, 2008]).

Con riferimento anche a quanto previsto nel § 8.5 [NTC, 2008], particolare attenzione va posta inoltre per le costruzioni antiche di rilevante interesse storico per le quali risulti rilevante l'interesse per il mantenimento dei materiali originali, e per le quali si giustifica l'impiego di prove e criteri di valutazione che tengano conto anche delle prestazioni dimostrate dagli elementi strutturali nel corso della storia dell'opera.

A livello europeo esiste la versione definitiva (formalmente votata) dell'Eurocodice 5 (dedicato alle strutture di legno), nelle parti EN 1995-1-1 "Progettazione delle strutture di legno. Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici", EN 1995-1-2 "Progettazione delle strutture di legno. Parte 1-2: Progettazione strutturale contro l'incendio", EN 1995-2 Progettazione delle strutture di legno. Parte 2: Ponti". Tuttavia, per potere con correttezza e legittimità essere utilizzata anche nel nostro Paese, tale normativa necessita della definizione di alcuni coefficienti e formule che, quindi, si potranno presentare differenti da Paese a Paese.

Nel D.M. 14 gennaio 2008 sono raccolte tutte le varie scelte operate a livello nazionale per tutti gli Eurocodici (compresi dunque quelli relativi al conglomerato cementizio, acciaio, murature, strutture miste ecc.).

Prima dell'entrata in vigore del D.M. 14 gennaio 2008, non essendo ancora del tutto chiara la situazione normativa nel nostro paese, la strada che si poteva percorrere, per quanto attiene il dimensionamento e la verifica degli elementi e dei sistemi strutturali in legno, era quella di adottare prevalentemente le formulazioni e le prescrizioni costruttive contenute in una proposta di normativa nota con l'acronimo *Nicole* (Norme tecniche Italiane per la progettazione, esecuzione e collaudo delle Costruzioni di Legno), rivista e approvata a livello di bozza da apposita Commissione C.N.R. Parti di questo documento normativo sono state incorporate, per quanto riguarda gli aspetti fondamentali, nel documento Norme tecniche per le costruzioni (settembre 2005) e nelle attuali NTC (D.M. 14 gennaio 2008). Il C.N.R. predispose, sulla base del documento *Nicole*, un testo di "Istruzioni" (CNR DT 206) da affiancare a tali Norme tecniche (settembre 2005), per fornire ai progettisti le indispensabili basi di calcolo per affrontare il problema della progettazione e verifica della struttura di legno. In Italia, si aggiunge successivamente l'edizione corretta e ampliata della cosiddetta Ordinanza sismica 3274 (la già richiamata Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 3431, maggio 2005). La revisione dell'Ordinanza citata si presenta, in particolare, completata anche per la parte di disposizioni relative alle strutture di legno (si veda il capitolo 9 "Edifici con struttura di legno" nell'allegato 2 "Edifici").

Altri documenti normativi, come l'Eurocodice 5 (EN 1995:2004) e la recente normativa tedesca (DIN 1052:2004), potevano essere comunque utilizzati per alcune specifiche problematiche non esplicitamente trattate nei documenti italiani. Le diversità tra le norme citate erano quasi sempre da ricercare nel "valore" di un singolo coefficiente piuttosto che nel "principio" di una verifica. In tal senso, i calcoli effettuati mantenevano validità al di là del riferimento normativo specifico.

11.3 Il calcolo agli stati limite per le strutture lignee

11.3.1 Generalità

Le normative di riferimento per il calcolo e la verifica degli elementi strutturali lignei (Eurocodice 5, [CNR_DT_206, 2007], NTC), prevedono che le strutture in legno o con materiali a base di legno siano progettate secondo i metodi della scienza e tecnica delle costruzioni, per i carichi definiti dalle norme in vigore e seguendo il metodo degli stati limite (§ 4.4 [NTC, 2008]). La verifica della sicurezza che viene ricondotta alla verifica della seguente diseguaglianza:

Sollecitazione < Resistenza

la quale, per ogni elemento strutturale e per l'intero organismo strutturale nel suo complesso, deve rimanere valida in ogni momento dell'opera. La normativa da tutte le indicazione necessarie alla "scrittura" della suddetta disequazione per quanto riguarda la determinazione delle sollecitazioni, la determinazione delle resistenze, la verifica della sicurezza strutturale. Il legno è un materiale di origine biologica e pertanto le sue caratteristiche fisiche e il suo comportamento meccanico sono strettamente legati all'anatomia della pianta di provenienza.

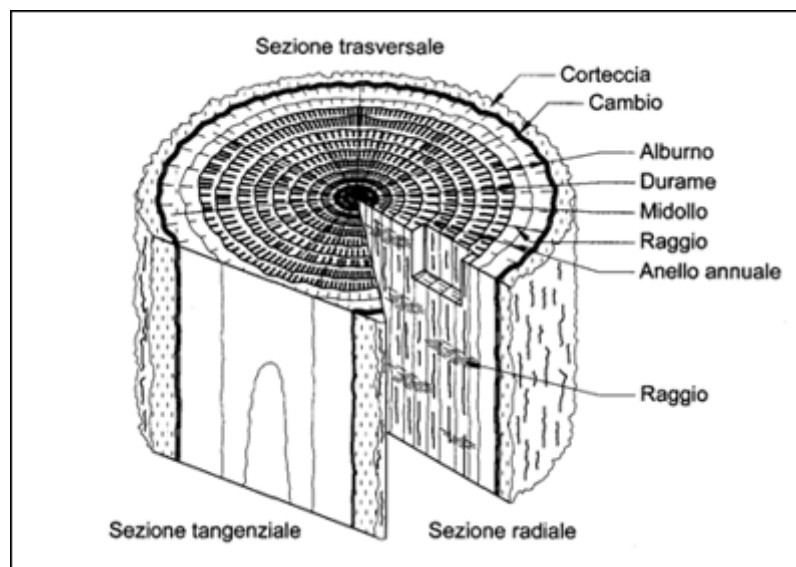



Figura 11.1 – Costituzione del tronco

All'interno del tronco (fig. 11.1), idealmente cilindrico, si individuano tre direzioni principali (longitudinale, radiale e circonferenziale) a cui corrispondono tre sezioni (trasversale, radiale e tangenziale), per ognuna delle quali è possibile definire caratteristiche morfologiche differenziate e caratteristiche fisiche e meccaniche molto variabili, che conferiscono al materiale uno spiccato comportamento anisotropo.

Le caratteristiche naturali del legno (presenza di nodi, inclinazione della fibratura, presenza di cretti, presenza di legno di reazione, ...) possono rappresentare da un punto di vista strutturale dei difetti che vanno debitamente considerati procedendo ad una accurata selezione e classificazione e, ove possibile, contemplati nei calcoli.

La principale caratteristica fisica che influenza le prestazioni del legno è rappresentata dal comportamento igroscopico, connesso alla capacità di assorbire e rilasciare umidità all'atmosfera circostante.

Per quanto riguarda la durabilità, particolare attenzione verrà posta alla sensibilità del legno al biodegradamento, principalmente per azione di funghi ed insetti xilofagi.

La definizione degli stati limite, sia in condizioni ultime che nelle condizioni di esercizio, tiene perciò conto di tali specifiche caratteristiche del materiale.

Un aspetto fondamentale riguarda la scelta dei modelli meccanici e strutturali atti a descrivere in maniera appropriata il comportamento dei materiali e dei sistemi strutturali: infatti i calcoli dovranno essere svolti usando appropriate schematizzazioni e, se necessario, dovranno essere supportati da prove.

Con riferimento al comportamento meccanico del materiale, gli elementi lignei in dimensioni d'uso presentano, per sollecitazioni di flessione, comportamento essenzialmente elasto-fragile, e questo deve essere adeguatamente tenuto in considerazione sia nel calcolo delle sollecitazioni che nella determinazione dei valori di resistenza.

Quindi, al fine di un'analisi globale della struttura, ovvero per la determinazione delle azioni interne nelle sezioni della struttura sotto i carichi agenti, si può assumere un comportamento elastico lineare dei materiali e dei collegamenti considerando i valori pertinenti (medi o caratteristici) del modulo elastico dei materiali e della rigidezza delle unioni, in funzione dello stato limite e del tipo di verifica considerati (§ 4.4.2 [NTC, 2008]).

Per quanto riguarda il comportamento cinematico dei giunti meccanici che normalmente vengono utilizzati nella tecnica delle costruzioni in legno, la schematizzazione più comune è quella di vincolo a cerniera. Tale schematizzazione, adottata nei casi in cui la rigidezza flessionale sia trascurabile, determina uno schema strutturale isostatico per le tipologie strutturali lignee più comuni (si tralasciano, ovviamente, i casi in cui le iperstaticità sono determinate dalla sola continuità strutturale degli elementi, come nel caso della trave formata da un unico elemento ligneo su più appoggi): in questi casi si può affermare, in accordo con la normativa, che uno schema isostatico può essere considerato sufficientemente accurato per simulare con ragionevole precisione il comportamento strutturale della costruzione. Qualora la rigidezza flessionale dei giunti non si possa considerare trascurabile, si hanno tipologie strutturali in grado di ridistribuire le azioni interne, ovvero strutture iperstatiche. Inoltre per tali strutture, in presenza di giunti con comportamento sufficientemen-

te duttile, si potrebbe fare uso di metodi di calcolo elasto-plastici per il calcolo delle stesse azioni interne (§ 4.4.2 [NTC, 2008]).

Relativamente alla determinazione delle resistenze degli elementi strutturali (§ 4.4.6 [NTC, 2008]), le normative citate danno tutte le indicazioni per tenere in considerazione alcune particolarità del materiale legnoso rispetto ad altri materiali da costruzione come la dipendenza della resistenza dalla durata dei carichi e dall'umidità. Secondo tutti i documenti normativi europei di più recente edizione (EN, DIN, SIA, documento *Nicole*, NTC 2008, ecc.) le azioni devono essere assegnate a una delle classi di durata del carico elencate nella tabella 4.4.I (§ 4.4.4 [NTC, 2008]). Le classi di durata del carico sono caratterizzate dall'effetto di un carico costante attivo per un certo periodo di tempo nella vita della struttura. La tabella 4.4.I consente di determinare la classe di durata del carico in funzione della variazione tipica del carico caratteristico con il tempo. Ai fini del calcolo, in genere, si può assumere quanto segue:

- il peso proprio e i carichi non rimovibili durante il normale esercizio della struttura, appartengono alla classe di durata permanente;
- i carichi permanenti suscettibili di cambiamenti durante il normale esercizio della struttura e i carichi variabili relativi a magazzini e depositi, appartengono alla classe di lunga durata;
- i carichi variabili degli edifici, ad eccezione di quelli relativi a magazzini e depositi, appartengono alla classe di media durata;
- il sovraccarico da neve riferito al suolo q_{sk}, calcolato in uno specifico sito ad una certa altitudine, è da considerare in relazione alle caratteristiche del sito;
- l'azione del vento e le azioni eccezionali in genere, appartengono alla classe di durata istantanea.

Tabella 4.4.I – Classi di durata del carico

Classe di durata del carico	Durata del carico
Permanente	più di 10 anni
Lunga durata	6 mesi - 10 anni
Media durata	1 settimana - 6 mesi
Breve deurata	meno di 1 settimana
Instantaneo	–

Le strutture devono essere assegnate, infine, a una delle classi di servizio elencate nella tabella 4.4.II (§ 4.4.5 [NTC, 2008]).

Il sistema di classi di servizio è destinato all'assegnazione di valori di resistenza e al calcolo delle deformazioni in condizioni ambientali definite. Esempi di situazioni reali in classe 1, 2, 3 sono mostrati in figura 11.2 a fronte.

Tabella 4.4.II – Classi di servizio

Classe di servizio 1	È caratterizzata da un'umidità del materiale in equilibrio con l'ambiente a una temperatura di 20° C e un'umidità relativa dell'aria circostante che non superi il 65% se non per poche settimane all'anno.
Classe di servizio 2	È caratterizzata da un'umidità del materiale in equilibrio con l'ambiente a una temperatura di 20° C e un'umidità relativa dell'aria circostante che superi l'85% solo per poche settimane all'anno.
Classe di servizio 3	È caratterizzata da un'umidità più elevata di quella della classe di servizio 2.

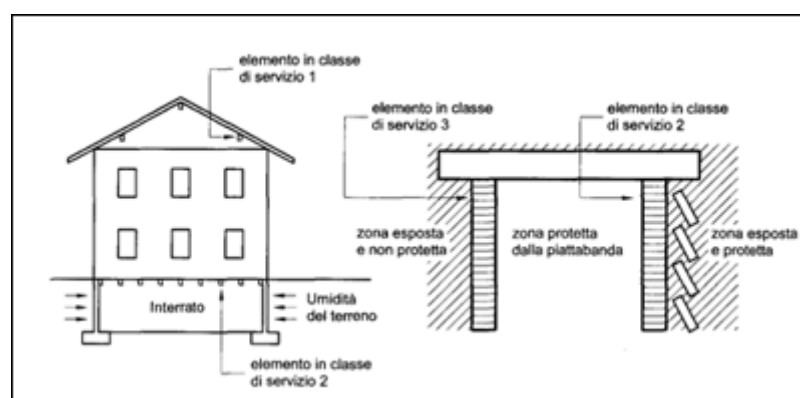



Figura 11.2 – Esempi di situazioni reali in classe 1, 2, e 3

Al fine del soddisfacimento della sicurezza strutturale, le verifiche dovranno essere condotte nei riguardi degli stati limite di esercizio e degli stati limite ultimi.

11.3.2 Le verifiche agli stati limite ultimi

Le azioni sulla costruzione devono essere cumulate in modo da determinare condizioni di carico tali da risultare più sfavorevoli ai fini delle singole verifiche, tenendo conto della probabilità ridotta di intervento simultaneo di tutte le azioni con i rispettivi valori più sfavorevoli. In particolare al § 4.4.5 le [NTC, 2008] prescrivono che le azioni caratteristiche devono essere definite in accordo con quanto indicato nei Capp. 3 e 5 delle [NTC, 2008]. Inoltre per costruzioni civili o industriali di tipo corrente e per le quali non esistano regolamentazioni specifiche, le azioni di calcolo si devono determinare secondo quanto indicato nel Cap. 2. La presenza di stati di precompressione deve essere considerata con cautela e, se possibile, evitata a causa dei fenomeni viscosi del materiale molto pronunciati per tali stati di sollecitazione, sia nel caso di compressione parallela alla fibratura sia, soprattutto, per quello di compressione ortogonale alla fibratura. Per gli stati limite ultimi si adotteranno le combinazioni del tipo fondamentale (§ 2.5.3 [NTC, 2008]):

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \ldots$$

dove:

- con G_1 si indicano i seguenti carichi permanenti:
  - peso proprio di tutti gli elementi strutturali;
  - peso proprio del terreno, quando pertinente;
  - forze indotte dal terreno (esclusi gli effetti di carichi variabili applicati al terreno);
  - forze risultanti dalla pressione dell'acqua (quando si configurino costanti nel tempo);
- con G_2 il peso proprio di tutti gli elementi non strutturali;
- con Q_{k1} i carichi variabili dominanti;
- con Q_{ki} (i > 1) i carichi variabili non dominanti;
- con γ_{G1} e γ_{G2} i coefficienti parziali definiti per le azioni (Tab. 2.6.I, § 2.6.1 [NTC, 2008]);
- con ψ_{0j} coefficienti di combinazione definiti per le azioni variabili (Tab. 2.5.I, § 2.5.3 [NTC, 2008]);

Alla combinazione fondamentale va affiancata eventualmente quella eccezionale:

$$G_1 + G_2 + P + A_d + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \ldots$$

Le azioni eccezionali A_d (§ 3.6 [NTC, 2008]) sono quelle che si presentano in occasione di eventi quali incendi, esplosioni ed urti.

La combinazione eccezionale di azioni va considerata nel caso in cui occorre eseguire specifiche verifiche nei confronti delle azioni eccezionali.

Quando non si effettuano verifiche specifiche nei confronti delle azioni eccezionali, la concezione strutturale, i dettagli costruttivi ed i materiali usati dovranno essere tali da evitare che la struttura possa essere danneggiata in misura sproporzionata rispetto alla causa.

Per quanto riguarda i valori di calcolo per le proprietà del materiale si assegnano a partire dai valori caratteristici con riferimento combinato alle classi di servizio e alle classi di durata del carico.

Il valore di calcolo di una proprietà del materiale (o della resistenza di un collegamento) viene calcolato mediante la relazione (§ 4.4.6 [NTC, 2008]):

$$X_d = \frac{K_{mod} X_k}{\gamma_M} \qquad \text{(4.4.1 NTC)}$$

dove:
X_d è il valore caratteristico della proprietà del materiale, come specificato al § 11.7, o della resistenza del collegamento. Il valore caratteristico X_k può anche essere determinato mediante prove sperimentali sulla base di prove svolte in condizioni definite dalle norme europee applicabili;

γ_M è il coefficiente parziale di sicurezza relativo al materiale, i cui valori sono riportati nella tabella 4.4.III (§ 4.4.6 [NTC, 2008]);

Tabella 4.4.III – Coefficienti parziali γ_M per le proprietà dei materiali

Stati limite ultimi	γ_M
- combinazioni fondamentali	
legno massiccio	1,50
legno lamellare incollato	1,45
pannelli di particelle o di fibre	1,50
compensato, pannelli di scaglie orientate	1,40
unioni	1,50
- combinazioni eccezionali	1,00

K_{mod} è un coefficiente correttivo che tiene conto dell'effetto, sui parametri di resistenza, sia della durata del carico sia dell'umidità della struttura. I valori di K_{mod} sono forniti nella tabella 4.4.IV, recepita dall'Eurocodice 5.

Se una combinazione di carico comprende azioni appartenenti a differenti classi di durata del carico si dovrà scegliere un valore di K_{mod} che corrisponde all'azione di minor durata: ciò implica la necessità analizzare tutte le combinazioni di carico, in quanto non risulta immediato comprendere quale tra esse risulti determinante nella verifica di un ben definito elemento.

Di seguito verranno riportate le verifiche "sezionali" rispetto alle principali tipologie di sollecitazioni (sia di tipo semplice che di tipo composto) a cui possono essere soggette le sezioni dei singoli elementi strutturali lignei (sollecitazioni semplici di flessione, taglio, trazione e compressione, oppure sollecitazioni composte di tensoflessione e pressoflessione). Le verifiche di seguito riportate sono effettuate con riferimento alle tensioni interne calcolate nell'ipotesi di conservazione delle sezioni piane e di una relazione lineare tra tensioni e deformazioni fino alla rottura (§ 4.4.8.1 [NTC, 2008]), tuttavia si deve sempre tenere presente l'origine della sollecitazione che genera un certo stato tensionale e che deve corrispondere alle prove sperimentali che hanno definito i relativi valori caratteristici di resistenza f_k. Il riferimento, quindi, alle verifiche in termini di tensioni, metodologia forse più aderente alla tradizionale modalità di calcolo degli elementi lignei, è in realtà una "traduzione" della verifica in termini di sollecitazioni (sforzo normale, momento flettente e taglio).

Le prescrizioni riportate al § 4.4.8.1 [NTC, 2008] si riferiscono alla verifica di resistenza di elementi strutturali in legno massiccio o di prodotti derivati dal legno aventi direzione della fibratura coincidente sostanzialmente con il proprio asse longitudinale e sezione trasversale costante,

Tabella 4.4.IV – Valori di k_{mod} per legno e prodotti strutturali a base di legno

Materiale	Riferimento		Classe di servizio	Classe di durata del carico				
				Permanente	Lunga	Media	Breve	Istantanea
Legno massiccio Legno lamellare incollato	EN 14081-1 EN 14080		1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
			2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
			3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
Compensato	EN 636	Parti 1, 2, 3	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
		Parti 2, 3	2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
		Parte 3	3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
Pannello di scaglie orientate (OSB)	EN 300	OSB/2	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,00
		OSB/3 - OSB/4	1	0,40	0,50	0,70	0,90	1,00
			2	0,30	0,40	0,55	0,70	0,90
Pannello di particelle (truciolare)	EN 312	Parti 4, 5	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,00
		Parte 5	2	0,20	0,30	0,45	0,60	0,80
		Parti 6, 7	1	0,40	0,50	0,70	0,90	1,00
		Parte 7	2	0,30	0,40	0,55	0,70	0,90
Pannello di fibre, alta densità	EN 622-2	HB.LA, HB.HLA 1 o 2	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,00
		HB.HLA 1 o 2	2	0,20	0,30	0,45	0,60	0,80
Pannello di fibre, media densità (MDF)	EN 622-3	MBH.LA1 o 2	1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00
		MBH.HLS1 o 2	1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00
			2	-	-	-	0,45	0,80
	EN 622-5	MDF.LA, MDF.HLS	1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00
		MDF.HLS	2	-	-	-	0,45	0,80

soggetti a sforzi agenti prevalentemente lungo uno o più assi principali dell'elemento stesso (fig. 11.3).

A causa dell'anisotropia del materiale, le verifiche degli stati tensionali di trazione e compressione si devono eseguire tenendo conto dell'angolo tra direzione della fibratura e direzione della tensione.

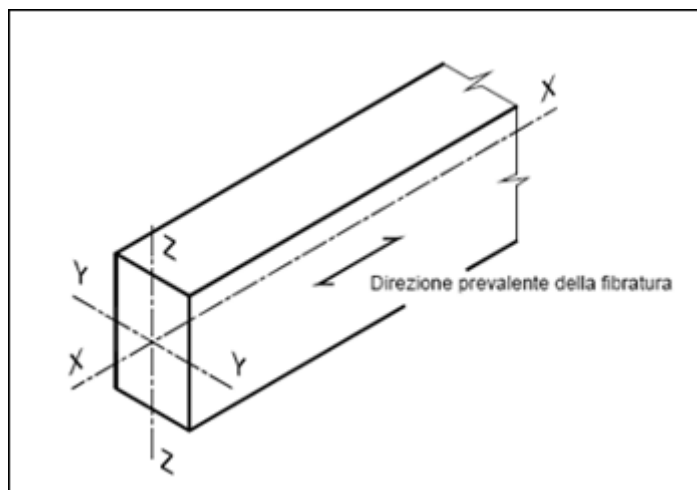



Figura 11.3 – Assi principali dell'elemento

11.3.2.1 Trazione parallela alla fibratura

Deve essere soddisfatta la seguente condizione:

$$\sigma_{t,0,d} \leq f_{t,0,d} \qquad (4.4.2\ \text{NTC})$$

dove:

$\sigma_{t,0,d}$ è la tensione di calcolo a trazione parallela alla fibratura calcolata sulla sezione netta;

$f_{t,0,d}$ è la corrispondente resistenza di calcolo.

Apparentemente, in questa verifica, non viene quindi fatto alcun riferimento all'influenza esercitata dalla presenza dei difetti e alla riduzione di capacità resistente che ne consegue. In realtà però le NTC permettono di considerare un "effetto di volume", prevedendo un valore di resistenza maggiore negli elementi con dimensioni delle sezioni limitate.

I valori di resistenza caratteristici $f_{t,0,k}$ possono dunque essere incrementati mediante un coefficiente amplificativo k_h che tiene conto delle dimensioni della sezione trasversale, così definito al § 11.7.1.1 [NTC, 2008]:

- per elementi di legno massiccio sottoposti a flessione o a trazione parallela alla fibratura che presentino rispettivamente una altezza o il lato maggiore della sezione trasversale inferiore a 150 mm,

$$k_h = \min\left\{\left(\frac{150}{h}\right)^{0,2} \; ; \; 1,3\right\} \tag{11.7.1 NTC}$$

- per elementi di legno lamellare sottoposti a flessione o a trazione parallela alla fibratura che presentino rispettivamente una altezza o il lato maggiore della sezione trasversale inferiore a 600 mm,

$$k_h = \min\left\{\left(\frac{600}{h}\right)^{0,1} \; ; \; 1,1\right\} \tag{11.7.2 NTC}$$

essendo h, in millimetri, l'altezza della sezione trasversale dell'elemento inflesso oppure il lato maggiore della sezione trasversale dell'elemento sottoposto a trazione.

Le dimensioni per le prove standardizzate degli elementi in trazione e flessione, prevedono appunto $h = 150\,mm$ per il legno massiccio e $h = 600\,mm$ per il legno lamellare.

11.3.2.2 Trazione perpendicolare alla fibratura

La trazione perpendicolare alla fibratura rappresenta la sollecitazione più pericolosa di cui si deve tener conto nella verifica di un elemento strutturale ligneo, essendo quella per la quale si registrano i valori più bassi di resistenza del materiale.

Le NTC prescrivono al § 4.4.8.2 che per tale verifica si dovrà far riferimento a normative di comprovata validità (Eurocodice 5, DIN, SIA, [CNR_DT_206, 2007], ecc).

La rottura è di tipo fragile e risulta sensibilmente influenzata dalla presenza dei difetti. Casi pratici di sollecitazione per trazione ortogonale si manifestano in prossimità di fori e intagli, in elementi sottoposti a carichi appesi, nelle travi curve in determinati regimi di sforzo e nella zona d'apice di travi a doppia rastremazione. Per ciascuna di queste situazioni le varie normative forniscono delle verifiche più dettagliate, per le quali sarà in seguito dedicato uno specifico capitolo.

11.3.2.3 Compressione parallela alla fibratura

Deve essere soddisfatta la seguente condizione (§ 4.4.8.1.3 [NTC, 2008] ovvero § 6.5.1.3 [CNR_DT_206, 2007]):

$$\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d} \tag{4.4.3 NTC}$$

dove:

$\sigma_{c,0,d}$ è la tensione di calcolo a compressione parallela alla fibratura calcolata sulla sezione netta;

$f_{c,0,d}$ è la corrispondente resistenza di calcolo.

Deve essere inoltre effettuata la verifica di instabilità per gli elementi compressi, come definita al § 4.4.8.2.2 [NTC, 2008].

11.3.2.4 Compressione perpendicolare o inclinata alla fibratura

Nelle strutture lignee si manifestano spesso tensioni di compressione, variamente inclinate rispetto alla fibratura, dalle travi in semplice appoggio alle travature reticolari, come evidenziato in figura 11.4

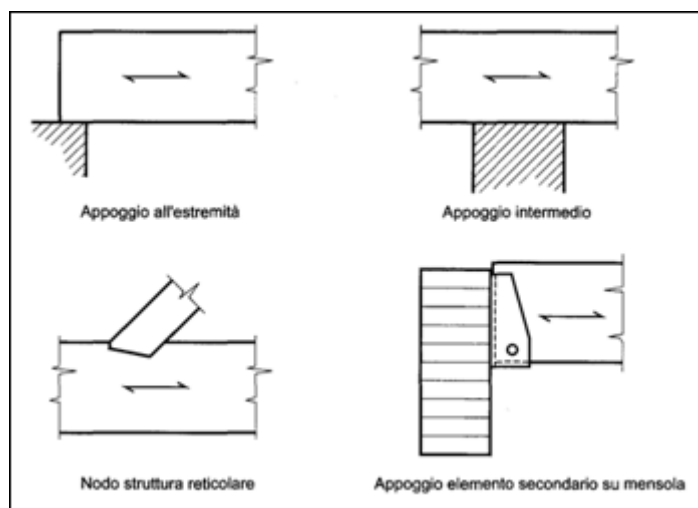



Figura 11.4 – Elementi sottoposti a compressione (ortogonale o inclinata) rispetto alla direzione di fibratura

Questi stati tensionali devono essere tenuti in debita considerazione, non tanto per il pericolo di collasso strutturale, quanto per lo sviluppo di fenomeni di schiacciamento più o meno localizzato, già in fase di esercizio.

La verifica dell'elemento deve necessariamente basarsi sulla resistenza a compressione ortogonale $f_{c,90,k}$ fornita dal relativo profilo prestazionale per lo specifico materiale in uso: tale valore è riferito a prove di compressione cubica ovvero con impronta di carico non inferiore alle dimensioni del provino. Da notare che, a differenza degli altri tipi di sollecitazione, i difetti del materiale hanno un'influenza minima sulla già modesta capacità resistente: talvolta i nodi possono addirittura essere di aiuto nella limitazione della deformabilità locale.

I meccanismi resistenti che garantiscono la capacità portante sono due: il primo contributo è legato alla resistenza offerta dalle fibre del legno a comprimersi e schiacciarsi lateralmente; il secondo contributo è dovuto agli "effetti di confinamento", che si possono spiegare con la collaborazione, al meccanismo resistente, delle fibre adiacenti non caricate, le quali sono sollecitate (localmente) a trazione assorbendo una quota parte del carico (fig. 11.5 nella pagina successiva).

L'entità di questo secondo contributo è indipendente dalla lunghezza dell'impronta di carico, ma è invece proporzionale all'affondamento della piastra e alle dimensioni delle aree laterali all'impronta ("confinamento").

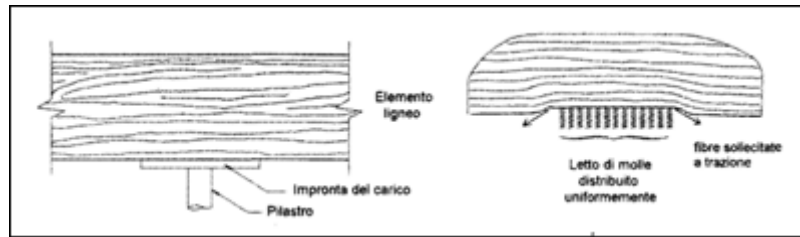



Figura 11.5 – Rappresentazione schematica della modalità di rottura per la compressione ortogonale alle fibre

Per la verifica a compressione perpendicolare o inclinata alla fibratura le NTC demandano alle normative di comprovata validità (§ 4.4.8.1.4 e § 4.4.8.1.5 [NTC, 2008]).

Le formule di verifica proposte dalle diverse normative modellano gli "effetti di confinamento" principalmente in due modi:

1. assumendo un fattore di riduzione del carico, tramite il coefficiente di confinamento $k_{c,90}$
2. aumentando l'area di impronta, attraverso l'introduzione di un'area efficace A_{ef}

Di seguito vengono illustrati i criteri proposti da due diverse norme per la verifica a compressione ortogonale alla fibratura: il documento CNR DT 206/2007 e la norma DIN 1052:2004.

Occorre a questo proposito sottolineare che, dato il carattere di convenzionalità della definizione di resistenza a compressione ortogonale alla fibratura, adottando proposte normative alternative ci si deve coerentemente riferire ai valori forniti dai differenti profili prestazionali per la compressione ortogonale alla fibratura $f_{c,90,k}$ (EN 1994:2000 e prEN338:2002 per il documento [CNR_DT_206, 2007], appendici F per la norma DIN 1052:2004), essendo questi valori riferiti alla compressione cubica, cioè dati da una compressione con confinamento nullo (ovvero con l'impronta di carico non inferiore alle dimensioni del provino stesso).

- Documento [CNR_DT_206, 2007] (documento *Nicole*)

Nel caso di Compressione perpendicolare alla fibratura deve essere soddisfatta la seguente condizione (§ 6.5.1.4 [CNR_DT_206, 2007] ovvero § 4.4.8.1.4 [NTC, 2008]):

$$\sigma_{c,90,d} \leq f_{c,90,d} \qquad \text{(6.9 CNR ovvero 4.4.3 NTC)}$$

dove:

$\sigma_{c,90,d}$ è la tensione di calcolo a compressione ortogonale alla fibratura calcolata sulla sezione netta;

$f_{c,90,d}$ è la corrispondente resistenza di calcolo.

Nella valutazione di $\sigma_{c,90,d}$ è possibile tenere conto della ripartizione del carico nella direzione della fibratura lungo l'altezza della sezione trasversale dell'elemento.

Le istruzioni [CNR_DT_206, 2007] suggeriscono al § 6.5.1.4, nel caso di forza di compressione esterna $F_{90,d}$agente ortogonalmente alla fibratura per una lunghezza l su una trave di larghezza b, di utilizzare il valore di calcolo della tensione di compressione normale all'asse della trave fornito dall'espressione:

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{F_{90,d}}{b \times l_{ef}} \qquad (6.10\ \text{CNR})$$

nella quale l_{ef} è la lunghezza efficace di appoggio.

Le NTC prescrivono al § 4.4.8.1.4 che è possibile, con riferimento a normative di comprovata validità, tener conto di una larghezza efficace maggiore di quella di carico.

A tal proposito le istruzioni [CNR_DT_206, 2007] suggeriscono al § 6.5.1.4, che nel caso in cui, esternamente alla zona di appoggio e in direzione parallela alle fibre, sia presente una zona di superficie non caricata, potendo tale zona offrire un contributo alla resistenza alla compressione ortogonale alla fibratura (effetto di confinamento), la lunghezza efficace di appoggio l_{ef} può essere convenientemente aumentata rispetto alla lunghezza reale l secondo quanto di seguito indicato:

1. nel caso in cui la lunghezza reale di appoggio l sia maggiore o uguale a 400 mm si deve assumere sempre $l_{ef} = l$;

2. nel caso in cui la lunghezza reale di appoggio l sia minore di 400 mm, è possibile adottare una lunghezza efficace di appoggio $l_{ef} \geq l$ pari a:

$$l_{ef} = \min\left(l + 1/3\,h,\ 2l,\ 400\,mm\right) \qquad (6.11\ \text{CNR})$$

se su entrambi i lati della zona caricata è presente una zona scarica di lunghezza parallela alle fibre pari ad almeno 1.6 h, e pari a:

$$l_{ef} = \min\left(l + 1/6\,h,\ 1.5\,l,\ 400\,mm\right) \qquad (6.12\ \text{CNR})$$

se invece su un solo lato della zona caricata è presente una zona scarica di lunghezza parallela alle fibre pari ad almeno 1.6 h;

Se la lunghezza parallela alle fibre delle zone scariche (indicata con l_{sc}) è inferiore a 1.6 h, i valori della lunghezza efficace $l_{ef} \geq l$ che possono essere adottati diventano:

$$l_{ef} = \min\left(l + 2\,l_{sc},\ 2\,l,\ 400\,mm\right) \qquad (6.13\ \text{CNR})$$

se la zona scarica è presente su entrambi i lati;

$$l_{ef} = \min\left(l + l_{sc},\ 1.5\ l,\ 400\,mm\right) \qquad (6.13\ \text{CNR})$$

se invece la zona scarica è presente su un solo lato.

Dunque il modello proposto dal documento *Nicole*, aumentando l'area di impronta attraverso l'introduzione di un'area efficace A_{ef} considera in modo estremamente semplificato il contributo alla resistenza dovuto agli "effetti di confinamento".

Si osservi l'introduzione di un'area efficace A_{ef} equivale a concedere l'utilizzo di valori superiori per $f_{c,90,d}$fino ad un limite di 1,5 volte quelli contemplati nelle normative pertinenti.

Nel caso di compressione inclinata di un angolo α rispetto alla fibratura (fig. 11.6), il documento [CNR_DT_206, 2007] utilizza la formula di *Hankison* per determinare la tensione resistente, dovendosi quindi soddisfare la seguente condizione:

$$\sigma_{c,\alpha,d} \leq \frac{f_{c,0,d}}{\frac{f_{c,0,d}}{f_{c,90,d}} sen^2\alpha + \cos^2\alpha} \qquad (6.14\ \text{CNR})$$

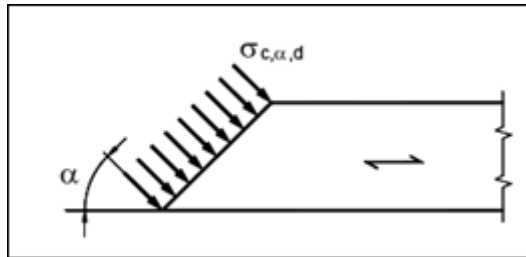



Figura 11.6 – Tensioni inclinate rispetto alla fibratura

nella quale:

$\sigma_{c,\alpha,d}$ è la tensione di calcolo di compressione inclinata dell'angolo rispetto alla fibratura;

$f_{c,0,d}$ è la resistenza di calcolo a compressione nella direzione della fibratura;

$f_{c,90,d}$ è la resistenza di calcolo a compressione perpendicolare alla fibratura.

Nella formula di *Hankison* le tensioni e le resistenze di progetto si ricavano sulla base delle stesse considerazioni effettuate in precedenza (§ 6.5.1.4 [CNR_DT_206, 2007]), ovvero consentendo una riduzione delle sollecitazioni di progetto tramite l'utilizzo di una area efficace e un incremento delle resistenza di progetto $f_{c,90,d}$ fino a 1,5 volte.

- Norma DIN 1052:2004

Nel caso di compressione ortogonale alla fibratura, secondo DIN 1052:2004 (§ 10.2.4), si deve soddisfare la seguente condizione:

$$\frac{F_{90,d}}{f_{c,90,d} \cdot k_{c,90} \cdot A_{ef}} \leq 1$$

essendo:

$F_{90,d}$ la forza di compressione esterna ortogonale alla fibratura;
$f_{c,90,d}$ la resistenza di progetto a compressione ortogonale alla fibratura;
$k_{c,90}$ il coefficiente di confinamento;
A_{ef} l'area efficace.

Il coefficiente di confinamento $k_{c,90}$ è da valutarsi secondo la tabella 11.5, dove l, l_1 ed h sono schematizzate nella figura 11.7.

Tabella 11.5 – Coefficiente di confinamento $k_{c,90}$

Materiale	$l_1 < 2h$	$l_1 \geq 2h$ Compressione su appoggio continuo	$l \leq 400\,mm$ Compressione su appoggio locale
Legno lamellare di conifera	1,0	1,5	1,75
Legno massiccio di conifera	1,0	1,25	1,5
Legno massiccio di latifoglia		1,0	

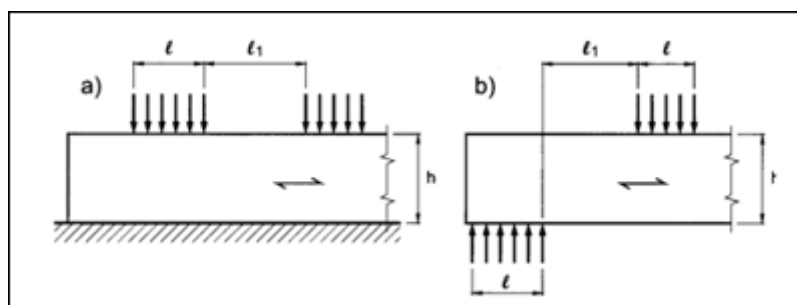



Figura 11.7 – Normativa DIN 1052:2004: (a) carico su trave con appoggio continuo (es. banchina); (b) carico su trave con appoggio localizzato

L'area efficace A_{ef} viene valutata in base alla geometria di appoggio di estremità della trave in accordo con la figura 11.8 nella pagina successiva, essendo b la larghezza di base della trave.

Nel caso di compressione inclinata di un angolo a rispetto alla fibratura, la normativa DIN 1052:2004 (§ 10.2.5) utilizza la seguente formula di verifica:

$$\frac{\sigma_{c,\alpha,d}}{k_\alpha \cdot f_{c,\alpha,d}} \leq 1$$

dove:

$$k_\alpha = 1 + (k_{c,90} - 1) \cdot sen\,\alpha$$

$$f_{c,\alpha,d} = \frac{f_{c,0,d}}{\sqrt{\left(\frac{f_{c,0,d}}{f_{c,90,d}} \cdot sen^2\alpha\right)^2 + \left(\frac{f_{c,0,d}}{1{,}5 \cdot f_{v,d}} \cdot sen\,\alpha \cdot \cos\,\alpha\right)^2 + \cos^4\alpha}}$$

(a)

(b)

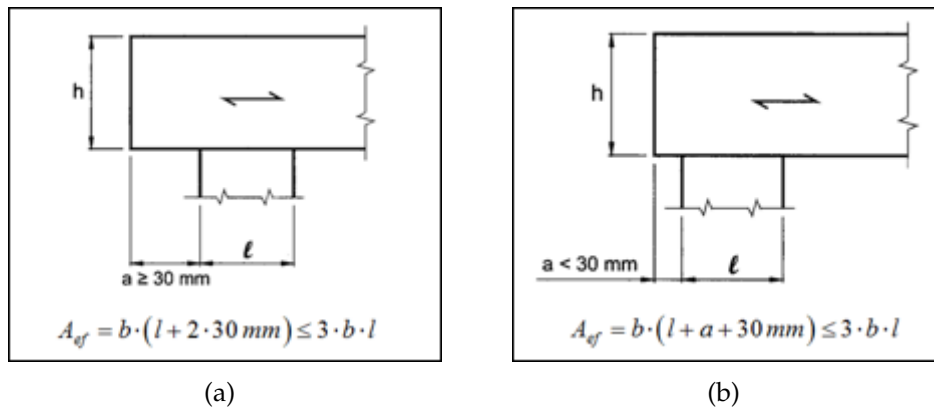



Figura 11.8 – Normativa DIN 1052:2004: geometria di appoggio di un'estremità di trave

essendo:

$f_{c,\alpha,d}$ la resistenza per compressioni inclinate rispetto alla direzione della fibratura, che viene determinata in accordo con il criterio di rottura di *Norris*;

α l'angolo tra la direzione della sollecitazione e la direzione della fibratura del legno;

$f_{v,d}$ la resistenza di progetto a [Taglio], § 11.3.2.5.

L'area efficace A_{ef} viene determinata in accordo con la figura 11.9, essendo b la larghezza di base della trave.

(a)

(b)

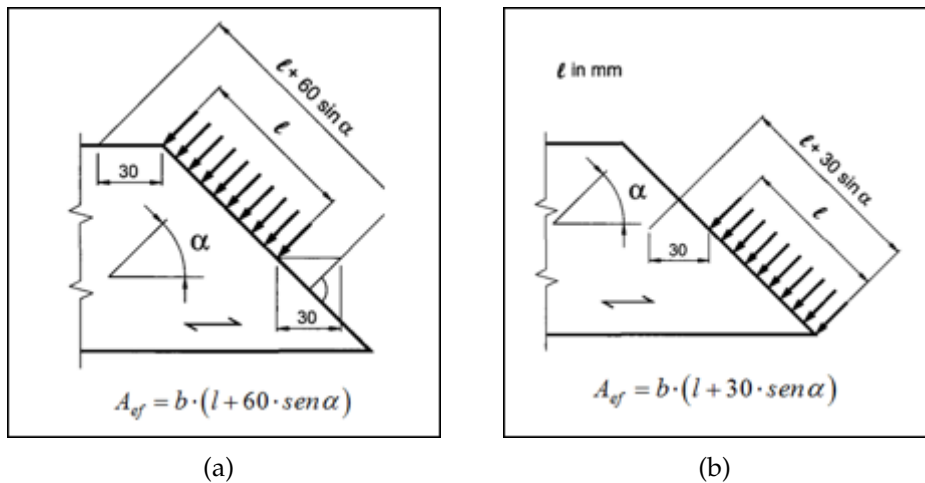



Figura 11.9 – Normativa DIN 1052:2004: compressione inclinata di un angolo c rispetto alla fibra-tara, determinazione dell'area efficace A_{ef}

11.3.2.5 Taglio

Deve essere soddisfatta la seguente condizione (§ 4.4.8.1.9 [NTC, 2008]):

$$\tau_d \leq f_{v,d} \qquad (4.4.8 \text{ NTC})$$

dove:

τ_d è la tensione massima tangenziale di calcolo, valutata secondo la teoria di *Jourawski*;

$f_{v,d}$ è la corrispondente resistenza di progetto a taglio.

La resistenza a taglio per rotolamento delle fibre (*rolling shear*, fig. 11.10(b)) si può assumere non maggiore di due volte la resistenza a trazione in direzione ortogonale alla fibratura (§ 4.4.8.1.9 [NTC, 2008]) in accordo con la norma europea EN 1995-1-1:2004 (§ 6.1.7).

(a) taglio in direzione ortogonale alla fibratura

(b) taglio per rotolamento delle fibre (rolling shear)

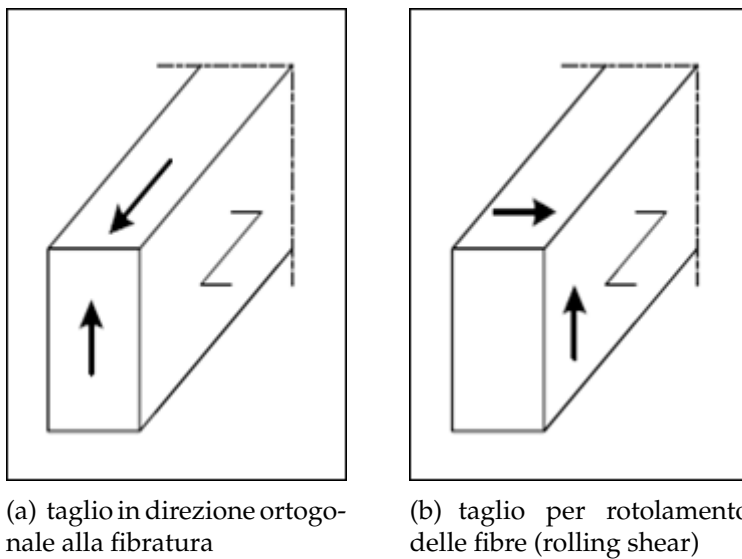



Figura 11.10 – Meccanismi di taglio

Assegnato uno sforzo di taglio di progetto V_d la tensione massima tangenziale di calcolo τ_d valutata secondo la teoria di Jourawski risulta:

$$\tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_d}{A} \qquad \text{per sezioni rettangolari}$$

$$\tau_d = \frac{4}{3} \cdot \frac{V_d}{A} \qquad \text{per sezioni circolari}$$

con A area della sezione sollecitata.

Nel caso di sollecitazione agente secondo due direzioni diverse (fig. 11.11 nella pagina successiva), si potrà considerare la media quadratica dei singoli valori, secondo la relazione:

$$\tau_d = \frac{3}{2A} \sqrt{V_{y,d}^2 + V_{z,d}^2}$$

Le NTC prescrivono inoltre che alle estremità della trave si potrà effettuare la verifica sopra indicata valutando in modo convenzionale τ_d,

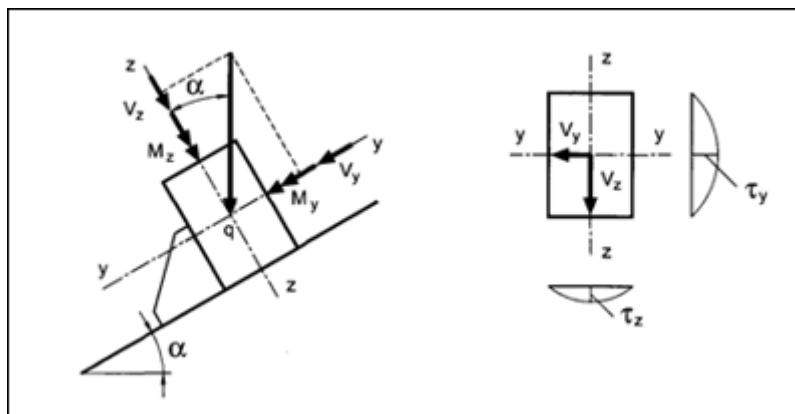



Figura 11.11 – Sollecitazione a taglio in una sezione rettangolare

considerando nullo, ai fini del calcolo dello sforzo di taglio di estremità, il contributo di eventuali forze agenti all'interno del tratto di lunghezza pari all'altezza h della trave, misurato a partire dal bordo interno dell'appoggio, o all'altezza effettiva ridotta h_{ef} nel caso di travi con intagli.

Sia la norma europea EN 1995-1-1:2004 (§ 6.1.7) che le indicazioni [CNR_DT_206, 2007] (§ 6.5.1.9), permettono di effettuare la verifica a taglio agli appoggi considerando nullo il contributo di tutte le forze applicate sull'elemento all'interno di un tratto di lunghezza h, pari all'altezza della trave, misurato a partire dall'estremità dell'appoggio (vedi fig. 11.12).

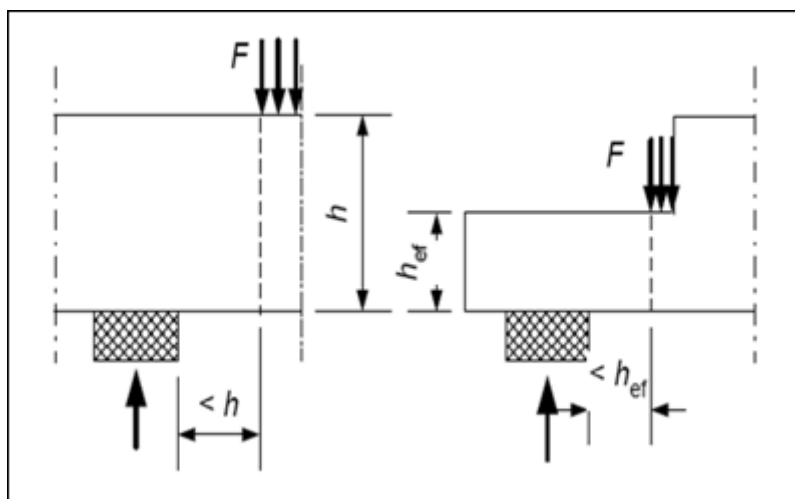



Figura 11.12 – Condizioni all'estremità della trave per le quali la forza concentrata F dovrà essere ignorata nel calcolo del taglio effettivo da considerare nella verifica

Per la verifica di travi con intagli o rastremazioni di estremità le NTC prescrivono di fare riferimento a normative di comprovata validità. Di seguito vengono illustrati i criteri proposti da due diverse norme per la suddetta verifica: il documento [CNR_DT_206, 2007] e la norma europea EN 1995-1-1:2004.

- Documento [CNR_DT_206, 2007]

Le indicazioni [CNR_DT_206, 2007] (§ 8.2) suggeriscono che la verifica a taglio delle sezioni terminali di travi con intagli o rastremazioni deve essere svolta tenendo conto dello stato tensionale causato dall'intaglio, con riferimento all'altezza effettiva ridotta (h_{ef}) della sezione trasversale.

Nel caso di presenza di tensioni di compressione in corrispondenza dell'intaglio (vedi fig. 11.13(b)) ovvero nel caso in cui siano presenti tensioni di trazione in corrispondenza dell'intaglio (vedi fig. 11.13(a)) purché la lunghezza del tratto rastremato sia non inferiore a 10 volte ($h - h_{ef}$) ed h_{ef} sia non minore di $h/2$ per i soddisfacimento della verifica a taglio si deve verificare la seguente condizione:

$$\tau_d = \frac{1.5 \cdot V}{b \cdot h_{ef}} \leq f_{v,d} \qquad \text{(8.15 CNR)}$$

valida per travi a sezione trasversale rettangolare con fibratura parallela all'asse longitudinale della trave stessa.

(a)

(b)

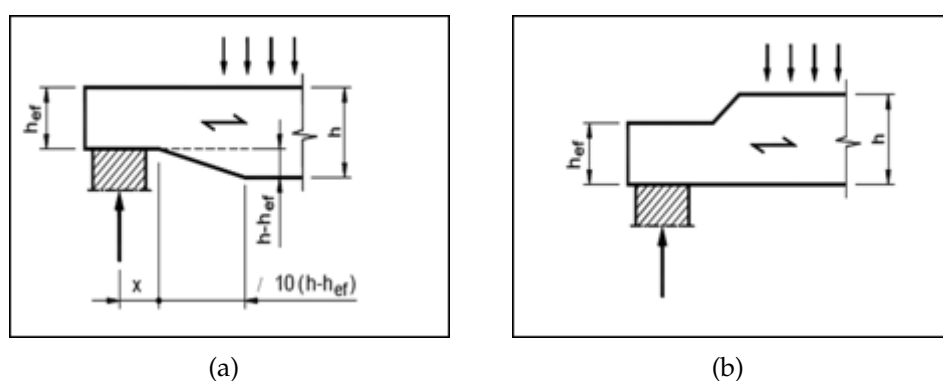



Figura 11.13 – Travi con intaglio all'estremità

E' sconsigliabile l'uso di travi con intagli senza rastremazione o con lunghezza del tratto rastremato inferiore a 10 volte ($h-h_{ef}$) senza che siano presi opportuni provvedimenti per contrastare l'apertura delle fessure del materiale in zona tesa.

- Norma europea EN 1995-1-1:2004

I criteri proposti per la verifica di travi con intagli dalla norma europea EN 1995-1-1:2004 (§ 6.5.2) sono sostanzialmente analoghi a quelli proposti dalle indicazioni [CNR_DT_206, 2007].

La verifica a taglio delle sezioni terminali di travi con intagli o rastremazioni deve essere svolta tenendo conto dello stato tensionale causato dall'intaglio, con riferimento all'altezza effettiva ridotta (h_{ef}) della sezione trasversale.

Per i soddisfacimento della verifica a taglio si deve verificare la seguente condizione:

$$\tau_d = \frac{1.5 \cdot V}{b \cdot h_{eff}} \leq k_v \, f_{v,d} \qquad \text{(6.60 EN 1995-1-1:2004)}$$

In cui viene introdotto il fattore di riduzione k_v definito come segue:

- nel caso di compressione in corrispondenza dell'intaglio (ovvero nel caso in cui l'intaglio sia sul lato opposto all'appoggio, fig. 11.14(b) nella pagina successiva) si assume

$$k_v = 1$$

- nel caso di trazione in corrispondenza dell'intaglio (ovvero nel caso in cui l'intaglio sia sullo stesso lato all'appoggio, vedi fig. 11.14(a) a fronte) si assume

$$k_v = \min \begin{cases} 1 \\ \dfrac{k_n(1+\frac{1,1 i^{1,5}}{\sqrt{h}})}{\sqrt{h}(\sqrt{\alpha(1-\alpha)}+0,8\frac{x}{h}\sqrt{\frac{1}{\alpha}-\alpha^2})} \end{cases}$$

essendo (vedi fig. 11.14(a) nella pagina successiva):
i l'inclinazione della rastremazione;
h l'altezza della trave in espressa mm;
x la distanza tra la reazione vincolare dell'appoggio e il punto terminale del tratto inclinato.

$$\alpha = \frac{h_{ef}}{h}$$

$$k_n = \begin{cases} 4.5 & \text{per legno LVL} \\ 5 & \text{per legno massiccio} \\ 6.5 & \text{per legno lamellare incollato} \end{cases}$$

Nelle sezioni terminali di travi con intagli o rastremazioni occorre tenere conto degli effetti dello stato tensionale causato dall'intaglio stesso nella verifica di resistenza delle membrature (§ 6.5.1 EN 1995-1-1:2004).

I suddetti effetti possono essere ignorati nei seguenti casi:

1. tensioni di compressione in corrispondenza dell'intaglio parallele alla fibratura;
2. tensioni di trazione da momento flettente in corrispondenza dell'intaglio (fig. 11.15(b) a fronte) purché il tratto rastremato abbia una inclinazione superiore a 10 ovvero ($i \geq 10$);
3. tensioni di compressione da momento flettente in corrispondenza dell'intaglio (fig. 11.15(a) nella pagina successiva).

(a) (b)

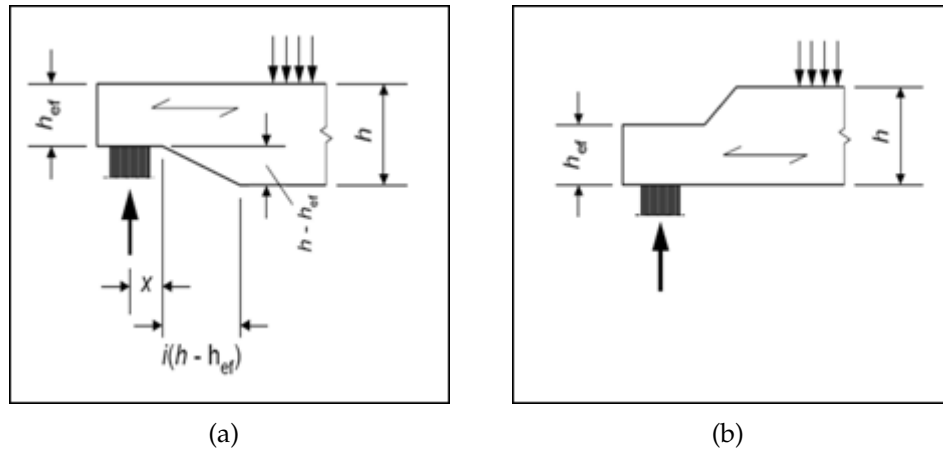



Figura 11.14 – Travi con intaglio all'estremità

(a) tensioni di compressione in corrispondenza dell'intaglio

(b) tensioni di trazione in corrispondenza dell'intaglio

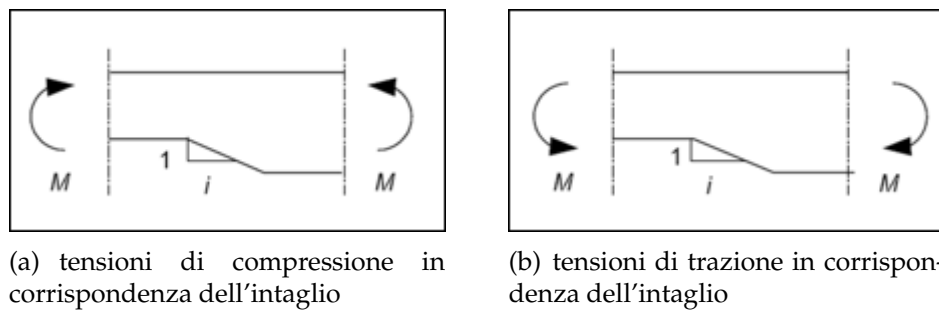



Figura 11.15 – Flessione all'intaglio

11.3.2.6 Torsione

Si tratta di un tipo di sollecitazione che, nelle comuni strutture lignee da analizzare, raramente risulta vincolante. Tuttavia la torsione non deve essere sottovalutata, soprattutto nel caso di elementi a sezione rettangolare alta e sottile.

Nella pratica progettuale occorre prevenire il generarsi di elevati valori di questo tipo di sollecitazione, anche perché può favorire il fenomeno di svergolamento nelle membrature inflesse, limitando le eccentricità dei carichi agenti e utilizzando eventualmente dei sistemi strutturali (aste puntone-tirante) che impediscano lo svilupparsi di azioni torcenti.

In una sezione rettangolare la tensione torsionale massima si sviluppa a metà del bordo esterno del lato maggiore e può essere calcolata, in forma approssimata, con la seguente relazione:

$$\tau_{tor,d} = \frac{M_{tor,d}}{J_t} b$$

dove J_t può essere calcolato attraverso la seguente relazione (Larsen e Riberholt, 1994):

$$J_t = \frac{b^3 \cdot h}{3 \cdot \left(1 + 0.6 \cdot \frac{b}{h}\right)}$$

Essendo

$\tau_{tor,d}$ la tensione massima tangenziale di calcolo per torsione;
$M_{tor,d}$ il momento torcente di progetto;
b la dimensione del lato minore della sezione;
h la dimensione del lato maggiore della sezione.

Le tensioni tangenziali di torsione devono verificare la seguente disuguaglianza (§ 4.4.8.1.10 [NTC, 2008]):

$$\tau_{tor,d} \leq k_{sh} f_{v,d} \qquad (4.4.9\ \text{NTC})$$

dove:

$f_{v,d}$ è la resistenza di progetto a taglio;
k_{sh} è un coefficiente che tiene conto della forma della sezione trasversale.

Per il coefficiente k_{sh} si possono assumere i valori:

$k_{sh} = 1,2$ per sezioni circolari piene;
$k_{sh} = 1 + 0,15\, h/b \leq 2$ per sezioni rettangolari piene, di lati b e h, con $b < h$;
$k_{sh} = 1$ per altri tipi di sezione.

11.3.2.7 Taglio e torsione

Nel caso di contemporanea presenza di tensioni tangenziali di taglio e torsione, deve risultare soddisfatta la seguente condizione (§ 4.4.8.1.10 [NTC, 2008]):

$$\frac{\tau_{tor,d}}{k_{sh}\, f_{v,d}} + \left(\frac{\tau_d}{f_{v,d}}\right)^2 \leq 1 \qquad \text{(4.4.10 NTC)}$$

ove il significato dei simboli è quello riportato nei paragrafi corrispondenti alle verifiche a taglio e a torsione.

11.3.2.8 Flessione semplice

Con riferimento alla 11.16 che segue le tensioni di flessione agenti nei due piani principali della sezione si ottengono mediante le note relazioni:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} \qquad \sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z}$$

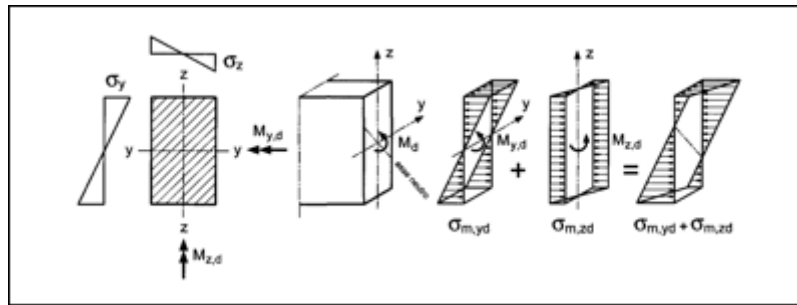



Figura 11.16 – Sollecitazione a flessione in una sezione rettangolare

dove $\sigma_{m,y,d}$ e $\sigma_{m,z,d}$ sono le tensioni di calcolo massime per flessione rispettivamente nei piani xz e xy determinate assumendo una distribuzione elastico lineare delle tensioni sulla sezione.

Devono quindi essere verificate entrambe le seguenti disuguaglianze (§ 4.4.8.1.6 [NTC, 2008]):

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \qquad \text{(4.4.5a NTC)}$$

$$k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \qquad \text{(4.4.5b NTC)}$$

essendo $f_{m,y,d}$ e $f_{m,z,d}$ sono le corrispondenti resistenze di calcolo a flessione, determinate tenendo conto anche delle dimensioni della sezione trasversale mediante il coefficiente k_h, come definito al § 11.7.1.1 [NTC, 2008].

Il coefficiente k_m tiene conto della ridistribuzione degli sforzi e degli effetti di disomogeneità del materiale nella sezione: infatti, la rottura

dell'elemento in flessione deviata non avviene necessariamente per raggiungimento di un valore massimo di tensione in uno degli spigoli di una sezione rettangolare (come invece si è soliti verificare in un materiale omogeneo e isotropo come l'acciaio).

I valori proposti dalle NTC per k_m sono:

$k_m = 0,7$ per sezioni rettangolari;
$k_m = 1,0$ per altre sezioni trasversali.

La normativa EN 1995-1-1:2004 fornisce gli stessi valori di k_m, da considerarsi validi per legno massiccio, legno lamellare e LVL.

Per materiali diversi da legno massiccio, legno lamellare e LVL, si prescrive l'utilizzo di $k_m = 1,0$.

Secondo quanto già anticipato trattando il problema della trazione parallela alle fibre, si ricorda l'influenza del fattore k_h nel determinare le resistenze di progetto a flessione $f_{m,y,d}$ e $f_{m,z,d}$ ciò che spiega i due possibili diversi valori per tali resistenze di progetto.

Ricordiamo infine che gli elementi inflessi devono sempre essere sottoposti alla verifica sulla condizione di instabilità e su quella di deformabilità, risultando quest'ultima spesso determinante nel dimensionamento dell'elemento.

A tal proposito le NTC prescrivono che deve essere effettuata la verifica di instabilità allo svergolamento (flesso-torsionale) per gli elementi inflessi, come definita al § 4.4.8.2.1 [NTC, 2008], trattata nei capitoli che seguiranno.

11.3.2.9 Tensoflessione

Nelle comuni strutture lignee da analizzare tale regime tensionale si sviluppa nei tiranti caratterizzati dalla presenza di eccentricità della forza di trazione, per esempio nel caso in cui siano praticati degli intagli nella membratura.

Nel caso di sforzo normale di trazione accompagnato da sollecitazioni di flessione attorno ai due assi principali dell'elemento strutturale, devono essere soddisfatte entrambe le seguenti condizioni (§ 4.4.8.1.7 [NTC, 2008]):

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \qquad \text{(4.4.6a NTC)}$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \qquad \text{(4.4.6b NTC)}$$

dove i valori di k_m da utilizzare sono quelli visti in precedenza e riportati al § 4.4.8.1.6 [NTC, 2008].

11.3.2.10 Pressoflessione

Analogamente al caso precedente, tale sollecitazione non si trova solamente negli elementi soggetti ad azioni di flessione e di compressione, ma anche in aste sottoposte a solo sforzo normale ma influenzate dalla presenza di eccentricità delle forze in gioco (causata per esempio dalla mancanza di rettilineità della membratura).

Non potendo in tal caso considerare un criterio di resistenza in regime elastico, sono proposte le seguenti due condizioni di verifica (§ 4.4.8.1.8 [NTC, 2008]):

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \qquad \text{(4.4.7a NTC)}$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \qquad \text{(4.4.7b NTC)}$$

dove i valori di k_m da utilizzare sono quelli visti in precedenza e riportati al § 4.4.8.1.6 [NTC, 2008].

Oltre alle verifiche di resistenza sopra esposte, devono essere esaminate anche quelle atte ad assicurare la sicurezza dell'elemento nei confronti di eventuali condizioni di instabilità (trattate nei capitoli che seguiranno), come definite al § 4.4.8.2.2 [NTC, 2008].

11.3.3 Le verifiche agli stati limite di esercizio

Per le verifiche agli stati limite di esercizio le NTC (§ 4.4.7), analogamente al documento [CNR_DT_206, 2007] e la norma europea EN 1995-1-1:2004, fanno esplicito riferimento agli stati limite di *deformazione* e *vibrazione*.

Per gli stati limite di esercizio si devono prendere in esame le combinazioni *rare*, *frequenti* e *quasi permanenti* (§ 2.5.3 [NTC, 2008]) applicando ai valori caratteristici delle azioni variabili adeguati valori per i coefficienti di combinazione ψ_{0j}, ψ_{1j} e ψ_{2j} (vedi tabella 2.5.I).

TABELLA 2.5.I – Valori dei coefficienti di combinazione

Categoria/Azione variabile	ψ_{0j}	ψ_{1j}	ψ_{2j}
Categoria A Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B Uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C Ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Categoria D Ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6
Categoria E Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria F Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso ≤ 30 kN)	0,7	0,7	0,6
Categoria G Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso > 30 kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H Coperture	0,0	0,0	0,0
Vento	0,6	0,2	0,0
Neve (a quota ≤ 1000 m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota > 1000 m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Variazioni termiche	0,6	0,5	0,0

In forma convenzionale le combinazioni possono essere espresse nel modo seguente:

- *Combinazione caratteristica (rara)*

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \; ... \qquad (2.5.2\ \text{NTC})$$

- *Combinazione frequente*

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \; ... \qquad (2.5.3\ \text{NTC})$$

- *Combinazione quasi permanente*

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \; ... \qquad (2.5.4\ \text{NTC})$$

11.3.3.1 Deformazioni istantanee e finali

Le deformazioni di una struttura, dovute agli effetti delle azioni applicate, degli stati di coazione, delle variazioni di umidità e degli scorrimenti nelle unioni, devono essere contenute entro limiti accettabili, sia in relazione ai danni che possono essere indotti ai materiali di rivestimento, ai pavimenti, alle tramezzature e, più in generale, alle finiture, sia in relazione ai requisiti estetici ed alla funzionalità dell'opera.

In generale nella valutazione delle deformazioni delle strutture si deve tener conto della deformabilità dei collegamenti.

Lo scorrimento delle unioni può essere determinato mediante prove sperimentali eseguite nel rispetto della norma UNI pertinente (UNI-EN 26891-1991) o può essere calcolato con riferimento a normative di comprovata validità in funzione delle caratteristiche dei materiali e del tipo di unione (§ 4.4.7 *Circolare del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti* 2 febbraio 2009, n. 617)

Nel caso di elementi lignei, i modesti valori di modulo di elasticità tangenziale G, in rapporto a quelli del modulo di elasticità longitudinale E , impongono di considerare nel calcolo della freccia anche la parte dovuta alla deformabilità per taglio.

L'equazione della linea elastica, per il calcolo della deformata dell'elemento monodimensionale trave, deve essere quindi scritta nel modo seguente, tenendo in considerazione anche il contributo deformativo a taglio:

$$\frac{d^2\eta}{dx^2} = -\frac{M}{EJ} + \frac{dT}{dx}\frac{\chi}{GA}$$

Il massimo abbassamento per una determinata configurazione di carico si ottiene quindi integrando la suddetta equazione tenendo conto delle condizioni al contorno (vincoli dell'elemento strutturale considerato).

Per una trave inflessa di lunghezza l, in semplice appoggio, a sezione costante e soggetta a carico uniforme q, la freccia totale massima vale quindi:

$$f_{\max} = \frac{5}{384}\frac{q\,l^4}{E_{0,medio}J} + \chi\frac{q\,l^2}{8G_{medio}A}$$

dove:

A è l'area della sezione trasversale;
J è il momento d'inerzia della sezione;
χ è il fattore di taglio della sezione (1,2 per sezioni rettangolari).

Le caratteristiche reologiche del legno giocano un ruolo essenziale nel comportamento deformativo globale dell'elemento, caratterizzato infatti da un andamento solo inizialmente elastico, che diventa ben presto di tipo visco-elastico (*fluage*), causando un progredire della deformazione nel tempo sotto carico costante. Oltre determinati valori tensionali, inoltre, il recupero elastico al cessare dei carichi accidentali (per esempio stagionali) non è più completo, generando un accumulo di deformazioni irreversibili.

Tutti questi aspetti risultano ancor più amplificati qualora l'ambiente circostante sia particolarmente umido (riduzione del modulo elastico) o sottoposto a notevoli gradienti igrometrici (costante ricerca, da parte del materiale, di un equilibrio igrometrico con l'ambiente esterno).

Non ci si può, dunque, limitare a prendere in considerazione la sola *freccia istantanea* (carichi di breve durata), ma va controllata anche quella *differita* (carichi prolungati nel tempo), soprattutto nel caso in cui le azioni che agiscono sull'elemento strutturale in modo permanente (pesi propri e permanenti, carico neve in alcune località di montagna) risultino percentualmente elevate rispetto al carico totale.

Le NTC (§ 4.4.7) prescrivono che la deformazione istantanea provocata da un'azione, va calcolata usando i valori medi dei moduli elastici (E e G) per le membrature, e il valore istantaneo del modulo di scorrimento per lo stato limite di esercizio K_{ser} per le unioni, che va determinato mediante prove sperimentali secondo quanto indicato in EN 26891 o secondo modalità di calcolo fornite da altre norme pertinenti.

La deformazione a lungo termine può invece essere calcolata utilizzando i valori medi dei moduli elastici

ridotti opportunamente mediante il fattore $1/\left(1 + k_{def}\right)$, per le membrature, e utilizzando un valore ridotto nello stesso modo del modulo di scorrimento K_{ser} dei collegamenti.

Il coefficiente k_{def} tiene conto dell'aumento di deformabilità con il tempo causato dall'effetto combinato della viscosità e dell'umidità del materiale. I valori di k_{def} sono riportati nella tabella 4.4.V nella pagina seguente in dipendenza del tipo di materiale (legno e prodotti da esso derivati) e della classe di servizio assegnata alla struttura.

Questi valori sono da ritenersi validi nel caso di elementi messi in opera con umidità in equilibrio con le condizioni termoigrometriche medie dell'ambiente.

Pertanto come suggerito dal documento § 4.4.7 [CNR_DT_206, 2007], per il calcolo della deformazione iniziale (u_{in}) occorre valutare la deformazione istantanea con riferimento alla *combinazione di carico rara*.

Per il calcolo della deformazione finale (u_{fin}) occorre valutare la deformazione a lungo termine per la *combinazione di carico quasi permanente*

Tabella 4.4.V – Valori di k_{def} per legno e prodotti strutturali a base di legno

Materiale	Riferimento		Classe di servizio		
			1	2	3
Legno massiccio	EN 14081-1		0,60	0,80	2,00
Legno lamellare incollato	EN 14080		0,60	0,80	2,00
Compensato	EN 636	Parte 1	0,80	-	-
		Parte 2	0,80	1,00	-
		Parte 3	0,80	1,00	2,50
Pannelli di scaglie orientate (OSB)	EN 300	OSB/2	2,25	-	-
		OSB/3 OSB/4	1,50	2,25	-
Pannello di particelle (truciolare)	EN 312	Parte 4	2,25	-	-
		Parte 5	2,25	3,00	-
		Parte 6	1,50	-	-
		Parte 7	1,50	2,25	-
Pannelli di fibre, alta densità	EN 622-2	HB.LA	2,25	-	-
		HB.HLA1, HB.HLA2	2,25	3,00	-
Pannelli di fibre, media densità (MDF)	EN 622-3	MBH.LA1, MBH.LA2	3,00	-	-
		MBH.HLS1, MBH.HLS2	3,00	4,00	-
	EN 622-5	MDF.LA	2,25	-	-
		MDF.HLS	2,25	3,00	-
Per legno massiccio posto in opera con umidità prossima al punto di saturazione, e che possa essere soggetto a essiccazione sotto carico, il valore di k_{def} dovrà, in assenza di idonei provvedimenti, essere aumentato a seguito di opportune valutazioni, sommando ai termini della tabella un valore comunque non inferiore a 2,0.					

e sommare a quest'ultima la deformazione istantanea dovuta alla sola aliquota mancante, nella combinazione quasi permanente, del carico accidentale prevalente (da intendersi come il carico variabile di base della combinazione rara).

In via semplificata la deformazione finale, u_{fin} relativa ad una certa condizione di carico, si può valutare come segue:

$$u_{fin} = u_{in} + u_{dif} \qquad \text{(6.2.a CNR DT 206/2007)}$$

dove:

u_{in} è la deformazione iniziale (istantanea), calcolata con riferimento alla combinazione di carico rara;

u_{dif} è la deformazione differita che può essere valutata attraverso la relazione:

$$u_{dif} = u'_{in} \cdot k_{def} \qquad \text{(6.3 CNR DT 206/2007)}$$

essendo u'_{in} la deformazione iniziale (istantanea), calcolata con riferimento alla combinazione di carico quasi permanente.

A scopo esemplificativo, nelle ipotesi che tutti gli elementi componenti siano caratterizzati da medesimi comportamenti reologici e da comportamento elastico - lineare, la deformazione finale u_{fin} può quindi essere così espressa:

$$u_{fin} = u_{in}^{G}\left(1 + k_{def}\right) + u_{in}^{Q_{k1}}\left(1 + \psi_{2,1}\, k_{def}\right) + \sum_{j=1}^{n} u_{in}^{Q_{kj}}\left(\psi_{0,j} + \psi_{2,j}\, k_{def}\right)$$

nella quale:

u_{in}^{G} è la deformazione istantanea causata dalle azioni permanenti;
$u_{in}^{Q_{k1}}$ è la deformazione istantanea causata dall'azione accidentale prevalente;
$u_{in}^{Q_{kj}}$ è la deformazione istantanea causata dalle altre azioni variabili.

11.3.3.2 Valori limite delle deformazioni dovute all'inflessione delle travi

Di seguito vengono illustrati i criteri proposti da due diverse norme per la suddetta verifica: la norma europea *EN 1995-1-1:2004* e il documento *CNR DT 206/2007*.

- Norma europea EN 1995-1-1:2004

Nel caso delle deformazioni dovute all'inflessione delle travi la freccia finale netta ($u_{net,fin}$), riferita alla corda congiungente i punti della trave in corrispondenza degli appoggi, è composta in generale da tre contributi deformativi (§ 7.2 [EN_1995-1-1:2004, 2004]):

$$u_{net,fin} = u_{inst} + u_{creep} - u_c = w_{fin} - w_c \qquad \text{(7.2 EN 1995-1-1:2004)}$$

dove:

u_c controfreccia (se presente);
u_{inst} freccia istantanea;
u_{creep} freccia dovuta alla deformazione differita nel tempo;
u_{fin} è la freccia finale di cui al precedente paragrafo.

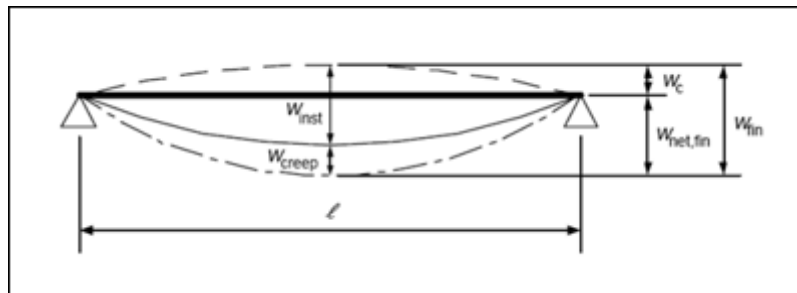



Figura 11.17 – Contributi alla deformazione flessionale in una trave

Si ricorda che la contro freccia u_c è una monta (inflessione negativa) imposta alla membratura al fine di "recuperare" parte della freccia, in casi di valori deformativi particolarmente critici, tipicamente con aste rettilinee in legno lamellare a luce elevata.

Per una trave inflessa di lunghezza L, in semplice appoggio, le § 7.2 [EN_1995-1-1:2004, 2004] raccomandano i range di valori limite di freccia riportati in tabella 11.8 nella pagina successiva.

Tabella 11.8 – Esempi di valori limite per la deformazione di travi su due appoggi

u_{inst}	$u_{net,fin}$	u_{fin}
$L/500 \div L/300$	$L/350 \div L/250$	$L/300 \div L/150$

- Documento CNR DT 206/2007

Secondo le indicazioni [CNR_DT_206, 2007] (§ 6.4.3) la freccia finale netta (u_{net}), riferita alla corda congiungente i punti della trave in corrispondenza degli appoggi, è data da:

$$u_{net} = u_1 + u_2 - u_0 = u_{fin} - u_0 \qquad \text{(6.4 CNR DT 206/2007)}$$

dove:

u_0 controfreccia (qualora presente);
u_1 è la freccia dovuta ai soli carichi permanenti;
u_2 è la freccia dovuta ai soli carichi variabili.

Nei casi in cui sia opportuno limitare la freccia istantanea dovuta ai soli carichi variabili, si raccomanda il seguente valore, a meno che condizioni speciali non impongano altri requisiti:

$$u_{2,in} \leq L/300 \qquad \text{(6.5 CNR DT 206/2007)}$$

dove $u_{2,in}$ è calcolata a partire dalla combinazione di carico rara.

Nei casi in cui sia opportuno limitare la freccia finale, u_{fin}, si raccomanda, a meno che condizioni speciali non impongano altri requisiti:

$$u_{net,fin} \leq L/250 \qquad \text{(6.6 CNR DT 206/2007)}$$

dove u_{fin} e $u_{2,fin}$ sono calcolate secondo uno dei due metodi presentati nel paragrafo 1.3.3.1.

Per gli sbalzi i limiti precedenti devono essere riferiti ad una lunghezza L pari a due volte la lunghezza dello sbalzo stesso. I limiti indicati per la freccia costituiscono solo requisiti indicativi. Limitazioni più severe possono rivelarsi necessarie in casi particolari, ad esempio in relazione ad elementi portati non facenti parte della struttura. Nel caso di impalcati si deve, di regola, verificare la compatibilità della deformazione con la destinazione d'uso.

11.3.3.3 Vibrazioni

Nella fase di progettazione, in generale, dovranno essere previste anche appropriate misure nei confronti degli effetti indotti dai carichi variabili che possano produrre colpi, vibrazioni ecc., e ciò con riguardo sia

alla funzione statica di un elemento o della struttura nel suo complesso, sia a inaccettabili disturbi e disagi per gli utilizzatori: questo vale, in particolare, per strutture aperte al pubblico.

Le calcolazioni relative dovrebbero essere quindi svolte tenendo conto della rigidezza attesa dell'elemento, componente o struttura, nonché del rapporto di smorzamento modale.

Un utile riferimento, non solo per le strutture lignee, sull'accettabilità o meno di vibrazioni continue, può essere trovato nella norma ISO 2631-2:1989 "*Evaluation of human exposure to whole-body vibration. Part 2: Continuous and shock-induced vibrations in buildings (1 to 80 Hz)*".

Di seguito vengono illustrati i criteri proposti dalla norma europea *EN 1995-1-1:2004* e dal documento *CNR DT 206/2007*.

- Norma europea EN 1995-1-1:2004

La norma europea EN 1995-1-1:2004 (§ 7.3.1), raccomanda di assumere per i solai, a meno di considerazioni più appropriate, un rapporto di smorzamento modale (*damping ratio*) $\zeta = 0,01$ ovvero pari all'1%.

Per il caso del solaio, al § 7.3.3, propone di eseguire valutazioni specifiche quando la frequenza fondamentale di vibrazione del medesimo risulti più piccola di 8Hz ($f_1 \leq 8\,Hz$), mentre nel caso opposto ($f_1 > 8\,Hz$) propone di soddisfare due requisiti:

- il primo sulla massima deformabilità istantanea w presentata dal solaio nei confronti di una forza statica verticale concentrata F applicata in un qualsiasi punto del solaio:

$$\frac{w}{F} \leq a \quad [mm/kN] \qquad \text{(7.3 EN 1995-1-1:2004)}$$

- il secondo sul massimo valore iniziale della velocità di vibrazione v del solaio in direzione verticale causata da un impulso ideale unitario ($1\,Ns$) applicato in corrispondenza del punto del solaio che fornisce la massima risposta:

$$v \leq b^{(f_1\zeta-1)} \quad \left[m/\left(Ns^2\right)\right] \qquad \text{(7.4 EN 1995-1-1:2004)}$$

Per i valori a e b da assumere le EN 1995-1-1:2004 raccomandano i seguenti range di valori limite e la relazione tra a e b come mostrato in figura 11.18 nella pagina seguente.

I suddetti calcoli devono essere eseguiti assumendo che il solaio non sia caricato, cioè considerando solo le masse corrispondenti al peso proprio del solaio ed alle altre azioni permanenti.

Per solai rettangolari di dimensione $l \times b$ semplicemente appoggiati su tutti e quattro i lati e con travi in legno di luce l, la frequenza fondamentale f_1 può essere approssimativamente calcolata come segue:

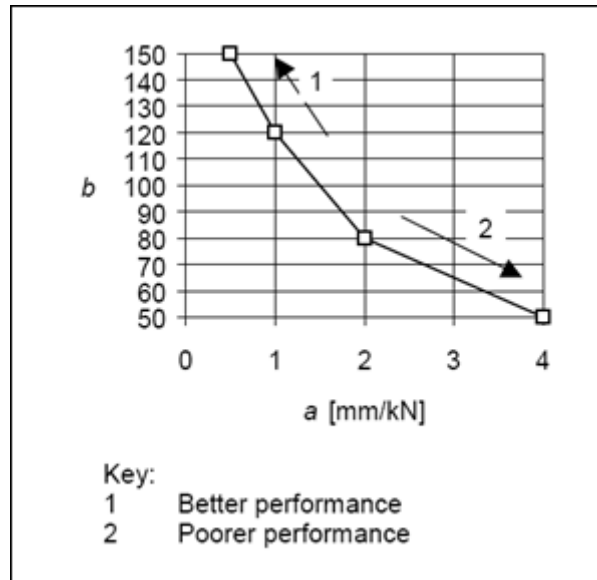



Figura 11.18 – Recommended range of and relationship between a and b

$$f_1 = \frac{\pi}{2\,l^2}\sqrt{\frac{(EI)_l}{m}} \qquad \text{(7.5 EN 1995-1-1:2004)}$$

dove:

m è la massa per unità di area in kg/m^2;
l è la luce del solaio espressa in metri;
$(EI)_l$ è la rigidezza flessionale equivalente del solaio rispetto all'asse perpendicolare alla direzione della trave espressa in Nm^2/m;
e il massimo valore iniziale della velocità di vibrazione v del solaio in direzione verticale causata da un impulso ideale unitario ($1\,Ns$) può essere approssimativamente calcolato come segue:

$$v = \frac{4\,(0,4 + 0,6\,n_{40})}{m\,b\,l + 200} \qquad \text{(7.6 EN 1995-1-1:2004)}$$

dove:

v è il massimo valore iniziale della velocità di vibrazione, in $m/\,(Ns^2)$
n_{40} è il numero di modi del primo ordine con frequenze naturali al di spora di 40 Hz;
b è la larghezza del solaio espressa in metri;
m è la massa per unità di area in kg/m^2;
l è la luce del solaio espressa in metri.
Il numero di modi n_{40} può essere calcolato come segue:

$$n_{40} = \left\{\left(\left(\frac{40}{f_1}\right)^2 - 1\right)\left(\frac{b}{l}\right)^4 \frac{(EI)_l}{(EI)_b}\right\}^{0,25} \qquad \text{(7.7 EN 1995-1-1:2004)}$$

dove $(EI)_b$ è la rigidezza flessionale equivalente del solaio, in Nm^2/m rispetto all'asse parallelo alla direzione della trave. Evidentemente $(EI)_b < (EI)_l$.

Tali indicazioni risultano, evidentemente, particolarmente severe nei casi di solai caratterizzati da massa (peso proprio e carichi permanenti) particolarmente ridotta (per esempio, un solaio con struttura e pavimento ligneo senza sottofondo); esse si rivelano molto meno vincolanti per altri tipi di solaio, tra i quali quelli composti in legno e calcestruzzo, molto diffusi nel nostro paese. Si deve anche osservare che, per travi in semplice appoggio con carico uniforme distribuito, il superamento della frequenza propria di 5 Hz avviene per frecce statiche inferiori a circa 2 cm, ciò che corrisponde, per esempio, per un solaio di circa 8 m di luce a una limitazione della freccia massima di circa 1/400 (ovviamente sui carichi permanenti).

- Documento CNR DT 206/2007

Nel caso di solai sui quali è previsto un intenso calpestio, salvo ulteriori esigenze specifiche, la frequenza naturale più bassa non dovrà essere inferiore a 6 Hz (§ 6.6.4 [CNR_DT_206, 2007]).

Ovviamente limitazioni più severe possono rivelarsi necessarie in casi particolari, per esempio conseguenti a utilizzo di particolari elementi portati non facenti parte della struttura.

Bibliografia

CNR_DT_206 (2007), «Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo delle Strutture di Legno», ROMA, CNR 28 novembre 2007, rev. 7 ottobre 2008.

EN_1995-1-1:2004 (2004), «Eurocode 5, Design of timber structures. Part 1-1: General - Common rules and rules for buildings», CEN, European Comnittee for Standardization.

NTC (2008), «Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni», Pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n. 29 del 4 febbraio 2008.

12 Verifica delle sezioni generiche in calcestruzzo

12.1 Introduzione

Dalla pubblicazione del D.M. 96 è stata introdotta la verifica delle sezioni in calcestruzzo considerando il comportamento non lineare del materiali. Il D.M. 96 considerava per il calcestruzzo un legame costitutivo non lineare di tipo parabola rettangolo con limitazione delle deformazioni a ε_{cu}=0,0035 e per l'acciaio un legame elastico perfettamente plastico con limitazione della deformazione a ε_{fu}=0,01. Le recenti normative hanno esteso il limite ultimo per l'acciaio indefinitamente nel caso di legame elasto-plastico, inoltre danno la possibilità di usare un legame elastico incrudente con limitazione delle deformazioni a ε_{fu}=0,01. Il presente articolo propone un algoritmo di verifica delle sezioni in calcestruzzo con tali legami costitutivi. La procedura automatica è stata implementata già da qualche anno nel programma di calcolo **IperSpace**®.

12.2 Posizione del problema

È assegnata una poligonale chiusa Ω nel riferimento (O,x,y) che individua il contorno della sezione di calcestruzzo ed una serie di aree di acciaio di area Af_i e posizione (x_i,y_i) considerate come elementi puntuali, interne alla poligonale. Sono assegnate, inoltre, le tre caratteristiche N, M_x, M_y sforzo normale, momento flettente lungo l'asse x e momento flettente lungo l'asse y considerate positive se i loro assi vettori sono concordi con i rispettivi assi (in particolare $N > 0$ se di trazione):

"in ipotesi di conservazione piana delle sezioni determinare un sistema di deformazioni, se possibile, tali che le caratteristiche interne della sezione siano in equilibrio a quelle applicate".

La sezione è assegnata tramite le coordinate dei vertici, con origine in un punto qualsiasi, l'unica ipotesi è che le caratteristiche interne e quelle applicate alla sezione sono riferite al baricentro.

12.3 Legami costitutivi

I legami costitutivi sono dati da:

$$\sigma_c = \sigma_{c0} \cdot \begin{cases} -1 & -\varepsilon_{cu} \leq \varepsilon \leq -\varepsilon_{c0} \\ 2\frac{\varepsilon}{\varepsilon_{c0}} + (\frac{\varepsilon}{\varepsilon_{c0}})^2 & -\varepsilon_{c0} \leq \varepsilon \leq 0 \\ 0 & \varepsilon > 0 \end{cases} \tag{12.1}$$

$$\sigma_f = \sigma_{fy} \cdot \begin{cases} -1 - b\frac{\varepsilon+\varepsilon_y}{\varepsilon_y} & -\varepsilon_{fu} \leq \varepsilon \leq -\varepsilon_y \\ \frac{\varepsilon}{\varepsilon_y} & -\varepsilon_y \leq \varepsilon \leq \varepsilon_y \\ 1 + b\frac{\varepsilon-\varepsilon_y}{\varepsilon_y} & \varepsilon_y \leq \varepsilon \leq -\varepsilon_{fu} \end{cases} \tag{12.2}$$

in cui usualmente $\varepsilon_{cu} = 0,0035$, $\varepsilon_{c0} = 0,002$, $\varepsilon_y = \frac{\sigma_{fy}}{E}$ mentre b è il rapporto tra il modulo elastico del tratto incrudente ed il modulo elastico all'origine, riguardo ai due modelli di acciaio si avrà:

- modello incrudente b≠0 ε_{fu}= 0,01
- modello elasto-plastico b=0 $\varepsilon_{fu} = \infty$

riguardo alle deformazioni in base alla ipotesi di conservazione piana delle sezioni possiamo scrivere

$$\varepsilon = \varepsilon_0 + \theta_x y - \theta_y x \, (x, y) \in \Omega$$

in cui:

- ε_0 deformazione nell'origine
- θ_x curvatura secondo l'asse x
- θ_y curvatura secondo l'asse y

che nel seguito chiameremo "deformazioni fondamentali"

12.4 Algoritmo

L'asse neutro n-n è individuato dalla equazione ε =0 che possiamo individuare attraverso un punto P$_n$ e la sua direzione, la direzione è data dal vettore di componenti $\vec{u} = \left(u_x, u_y\right) = \left(\frac{\theta_x}{\sqrt{\theta_x^2+\theta_y^2}}, \frac{\theta_y}{\sqrt{\theta_x^2+\theta_y^2}}\right)$, P$_n$ può essere scelto uguale a $P_x = (\varepsilon_0/\theta_y, 0)$ oppure uguale a $P_y = (0, -\varepsilon_0/\theta_x)$. Nel caso singolare $\vec{u}$=0 l'asse neutro è all'infinito e la sezione è tutta tesa o compressa. Supponiamo $\vec{u} \neq$0.

Con tale scelta risulta che ε >0 a sinistra di n-n e ε <0 a destra di n-n quindi la parte di calcestruzzo compressa si trova a destra di n-n così definito.

Infatti detto $\vec{n} = \left(-u_y, u_x\right)$ il vettore un ortogonale a $\vec{u}$, la direzione positiva di $\vec{n}$ individua i punti a sinistra e la negativa a destra, considerato il punto $P = Pn + \vec{n}t$ risulta che

$$\varepsilon\left(P\right) = \varepsilon_0 + \theta_x\left(y_n + \frac{\theta_x}{\sqrt{\theta_x^2+\theta_y^2}}t\right) - \theta_y\left(x_n - \frac{\theta_y}{\sqrt{\theta_x^2+\theta_y^2}}t\right) =$$
$$\varepsilon_0 + \theta_x y_n - \theta_y x_n + \frac{\theta_x^2+\theta_y^2}{\sqrt{\theta_x^2+\theta_y^2}}t = \varepsilon\left(P_n\right) + \frac{\theta_x^2+\theta_y^2}{\sqrt{\theta_x^2+\theta_y^2}}t = \frac{\theta_x^2+\theta_y^2}{\sqrt{\theta_x^2+\theta_y^2}}t$$

in quanto $\varepsilon\left(P_n\right)$=0 perché $Pn \in$ n-n; si vede quindi che per t>0 (punto a sinistra) è ε >0 e per t<0 (punto a destra) ε <0. inoltre si osserva pure che tutti i punti appartenenti ad una parallela a n-n la deformazione, e quindi la tensione, è costante. Allora è possibile fare riferimento ai soli assi neutri paralleli all'asse x in quanto la situazione reale corrisponde ad una rotazione della sezione, delle caratteristiche e delle curvature. In tale situazione risulta che θ_y=0. Pertanto nel seguito, quando non specificato altrimenti, si farà riferimento alla situazione rappresentata in figura:

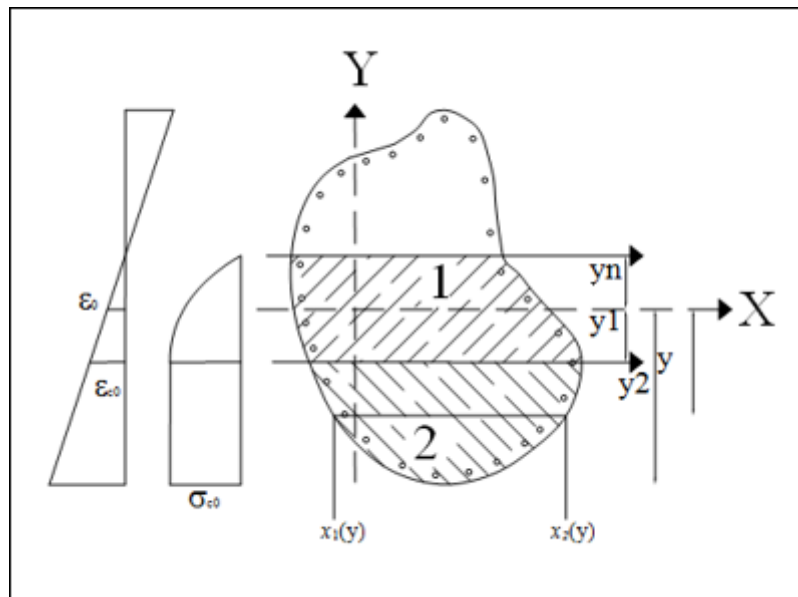



Figura 12.1 – Schema del dominio della sezione

In corrispondenza di un dato insieme di deformazioni avremo un campo di tensioni le cui risultanti saranno date da:

$$
\begin{aligned}
N &= \int_{Ac} \sigma_c\left(\varepsilon\left(x,y\right)\right) dAc + \sum_1^n \sigma_f\left(\varepsilon\left(x_i,y_i\right)\right) \cdot A_{fi} \\
M_x &= \int_{Ac} \sigma_c\left(\varepsilon\left(x,y\right)\right) \cdot y \cdot dAc + \sum_1^n \sigma_f\left(\varepsilon\left(x_i,y_i\right)\right) \cdot y_i \cdot A_{fi} \\
M_y &= -\int_{Ac} \sigma_c\left(\varepsilon\left(x,y\right)\right) \cdot x \cdot dAc - \sum_1^n \sigma_f\left(\varepsilon\left(x_i,y_i\right)\right) \cdot x_i \cdot A_{fi}
\end{aligned}
\tag{12.3}
$$

sviluppando l'espressione di $\sigma_c\left(\varepsilon\left(x,y\right)\right)$ in base alla (12.1) nella zona (1) si ottiene una espressione quadratica in ε_0, θ_x i cui coefficienti sono integrali del tipo $\int_{Ac} x^m y^n dAc$, mentre nella zona (2), quando esiste, la tensione non dipende da ε_0, θ_x ed è quindi costante, tali integrali, sono facilmente integrabili in quanto il contorno, per ipotesi è lineare a tratti. Riguardo all'acciaio non si pone nessun problema particolare, salvo verificare in quale intervallo dell'espressione (12.2) si trova la deformazione della fibra. Le relazioni (12.3) così come sono possono essere usate per la determinazione del dominio di resistenza, infatti fissata una condizione di rottura della sezione (raggiungimento delle deformazioni ultime nel calcestruzzo o acciaio) è noto il campo di deformazioni ed in particolare sono noti ε_0, θ_x e quindi integrando le (12.3) otteniamo i valori delle caratteristiche (N, M_x, M_y) corrispondenti alla situazione ultima della sezione per cui esse rappresentano un punto del dominio di resistenza della sezione, una volta calcolate esse vanno ruotate nel riferimento originario e inoltre trasportate nel baricentro al fine di poterle confrontare con le sollecitazioni che derivano dal calcolo della struttura. Assumendo diverse inclinazioni dell'asse neutro è possibile quindi determinare un dominio tridimensionale (vedi esempi in calce).

Viceversa le (12.3) possono essere usate per la soluzione del problema posto in precedenza. In generale le (12.3), quando si usi un riferimento generico, si pongono nella forma :

$$
\begin{aligned}
N &= N\left(\varepsilon_0, \theta_x, \theta_y\right) \\
Mx &= Mx\left(\varepsilon_0, \theta_x, \theta_y\right) \\
My &= My\left(\varepsilon_0, \theta_x, \theta_y\right)
\end{aligned}
\tag{12.4}
$$

in cui i primi membri sono le caratteristiche assegnate. Il sistema di equazioni (12.4) è non lineare sia per il fatto che non dipende in modo lineare dalle deformazioni "fondamentali", sia per il fatto che a priori non è noto il dominio di integrazione del calcestruzzo compresso, esso va

risolto con un metodo iterativo, il metodo adottato è il *metodo di Newton-Raphson*.

Riferendosi al caso di riferimento generico si supponga che (N, M_x, M_y) sia interno al dominio di resistenza per cui esiste un insieme di deformazioni soluzioni di (12.4) e si supponga di conoscere una soluzione approssimata $\left(\varepsilon_0^1, \theta_x^1, \theta_y^1\right)$ si valutino le (12.4) in corrispondenza di tali valori, in generale esse non saranno soddisfatte. Si ponga:

$$
\begin{aligned}
\Delta N &= N - N\left(\varepsilon_0^1, \theta_x^1, \theta_y^1\right) \\
\Delta Mx &= Mx - Mx\left(\varepsilon_0^1, \theta_x^1, \theta_y^1\right) \\
\Delta My &= My - My\left(\varepsilon_0^1, \theta_x^1, \theta_y^1\right)
\end{aligned}
\tag{12.5}
$$

e siano $\left(\Delta\varepsilon_0, \Delta\theta_x, \Delta\theta_y\right)$ le correzioni la apportare a $\left(\varepsilon_0^1, \theta_x^1, \theta_y^1\right)$ per annullare gli squilibri sviluppando in serie di Taylor le (12.4) intorno a $\left(\varepsilon_0^1, \theta_x^1, \theta_y^1\right)$ ed arrestandoci al primo ordine otteniamo

$$
\begin{aligned}
&F\left(\varepsilon_0^1 + \Delta\varepsilon_0, \theta_x^1 + \Delta\theta_x, \theta_y^1 + \Delta\theta_y\right) = \\
&F\left(\varepsilon_0^1, \theta_x^1, \theta_y^1\right) + \tfrac{\partial F}{\partial \varepsilon_0}\Delta\varepsilon_0 + \tfrac{\partial F}{\partial \theta_x}\Delta\theta_x + \tfrac{\partial F}{\partial \theta_y}\Delta\theta_y
\end{aligned}
$$

in cui F vale di volta in volta N, M_x, M_y.

Detto

$$\Delta C = \left[\Delta N, \Delta M_x, \Delta M_y\right]^T$$

il vettore degli squilibri,

$$\Delta\Xi = \left[\Delta\varepsilon_0, \Delta\theta_x, \Delta\theta_y\right]^T$$

la correzione alle deformazioni e

$$
A = \begin{bmatrix}
\frac{\partial N}{\partial \varepsilon_0} & \frac{\partial N}{\partial \theta_x} & \frac{\partial N}{\partial \theta_y} \\
\frac{\partial Mx}{\partial \varepsilon_0} & \frac{\partial Mx}{\partial \theta_x} & \frac{\partial Mx}{\partial \theta_y} \\
\frac{\partial My}{\partial \varepsilon_0} & \frac{\partial My}{\partial \theta_x} & \frac{\partial My}{\partial \theta_y}
\end{bmatrix}
\tag{12.6}
$$

la matrice delle derivate; le correzioni da apportare devono soddisfare il sistema $A \cdot \Delta\Xi = \Delta C$. Resta da definire ancora le derivate delle funzioni (12.4) visto che esse sono definite tramite integrali nelle quali anche il dominio di integrazione dipende dalle deformazioni fondamentali: orbene vale la seguente affermazione:

"**Le derivate delle (12.4), per quanto riguarda il calcestruzzo, possono essere valutate considerando il dominio di integrazione costante per un dato valore di $\left(\varepsilon_0^1, \theta_x^1, \theta_y^1\right)$, e quindi è possibile derivare sotto il segno di integrale**".

Per mostrare ciò si faccia riferimento alla figura 12.1 a pagina 115. Sia $y_n = y_n(\varepsilon_0, \theta_x)$ la posizione dell'asse neutro, osserviamo preliminarmente che gli integrali delle (12.3) sono nella forma:

$$I = \int_{Ac} \sigma_c\left(\varepsilon\left(y\right)\right) \cdot f\left(x,y\right) \cdot dAc = \int_{y2}^{yn} \left[\int_{x1(y)}^{x2(y)} \sigma_c\left(\varepsilon\left(y\right)\right) \cdot f\left(x,y\right) dx\right] dy = \int_{y2}^{yn} g(\varepsilon_0, \theta_x, y) dy$$

si dimostra che, sotto opportune ipotesi su g (che qui si ritengono soddisfatte), posto:

$$\phi\left(x\right) = \int_{\alpha(x)}^{\beta(x)} f(x,y) dy$$

Vedi [Fiorenza e Greco, 1986], pag. 335, eq. 19. Si ha:

$$\frac{d\phi\left(x\right)}{dx} = \int_{\alpha(x)}^{\beta(x)} \frac{\partial f}{\partial x} dy - f(x, \alpha(x)) \frac{d\alpha}{dx} + f(x, \beta(x)) \frac{d\beta}{dx}$$

pertanto se si indica con γ una qualsiasi delle variabili ε_0, θ_x risulta:

$$\frac{\partial I}{\partial \gamma} = \int_{y2}^{yn} \frac{\partial g}{\partial \gamma} dy + g(\varepsilon_0, \theta_x, yn) \cdot \frac{\partial yn}{\partial \gamma}$$

ma

$$g(\varepsilon_0, \theta_x, yn) = \int_{x1(yn)}^{x2(yn)} \sigma_c\left(\varepsilon\left(yn\right)\right) \cdot f\left(x, yn\right) dx$$

e quindi poiché $\sigma_c\left(\varepsilon\left(yn\right)\right)=0$ risulta $g(\varepsilon_0, \theta_x, yn) = 0$.

In definitiva

$$\frac{\partial I}{\partial \gamma} = \int_{y2}^{yn} \frac{\partial g}{\partial \gamma} dy$$

Allora le derivate degli elementi della matrice (12.6) possono essere valutati come per le (12.3) osservando che per effetto della derivazione gli elementi della matrice sono funzioni lineari delle deformazioni fondamentali ed i coefficienti sono integrali simili a quelli delle (12.3). Iterando il procedimento dopo un certo numero di passi gli squilibri diventano trascurabili e quindi si giunge al sistema di deformazioni fondamentali che soddisfano le (12.5) secondo la precisione stabilita.

Resterebbe ancora non risolta la questione della esistenza ed unicità della soluzione di (12.4) oltre che della convergenza del metodo, ma ciò esula dallo scopo di questo scritto, rimandando a testi specifici per il lettore interessato.

Si supponga ora che (N, M_x, M_y) siano generiche ovvero che possano trovarsi fuori del dominio di resistenza, la procedura deve essere in grado di determinare se ci si trova in tale situazione, perché in tal caso non è possibile trovare una soluzione delle (12.4), la condizione per cui (N, M_x, M_y) sia interno al dominio resistente della sezione è data dal fatto

che durante il processo di soluzione in nessuna iterazione ed in nessun punto vengano violate le deformazioni ultime, esperimenti numerici hanno mostrato che quando le caratteristiche esterne sono prossime a quelle resistenti può accadere che il processo iterativo non converge se si considerano inizialmente come squilibri le sollecitazioni nella loro interezza, in quanto l'approssimazione iniziale è troppo scarsa e gli incrementi calcolati sono talmente grandi da uscire fuori del dominio di resistenza in termini matematici possiamo dire che lo sviluppo arrestato al primo ordine da una approssimazione troppo povera. Per tale motivo la soluzione è cercata per passi.

Inizialmente si prova con le caratteristiche intere, se non si riesce a convergere in un prestabilito numero di passi si ricomincia dall'inizio procedendo con due incrementi di carico (si cerca la soluzione per valori dimezzati delle caratteristiche) raggiunta la convergenza si aggiunge agli squilibri l'altra metà e si ripete il ciclo considerando come approssimazione iniziale quella derivante dal passo di carico precedente. Se non si riesce a raggiungere la convergenza si dimezzano ancora gli incrementi fino ad un prestabilito numero di suddivisioni.

L'esperienza ha mostrato che per sezioni usuali con armature comprese tra i limiti di normativa, imponendo una precisione sulla soluzione di 10^{-3} intesa come:

$$e = \max\left(\frac{\Delta N}{|N|}, \frac{\Delta Mx}{|Mx|}, \frac{\Delta My}{|My|}\right)$$

si raggiunge la convergenza già con 5-6 iterazioni per passo e la precisione finale è molto maggiore di quella imposta (dell'ordine di 10^{-8}), inoltre è abbastanza raro che si debbano considerare più di 4 incrementi di carico.

12.5 Esempi

Si considerano di seguito alcuni esempi per mostrare la qualità dell'algoritmo.

Nel seguito si considera calcestruzzo Rck=300 daN/cm^2 e acciaio B450C con le seguenti caratteristiche:

Calcestruzzo	Acciaio
$\sigma_{c0} = 141\ daN/cm^2$ $\varepsilon_{c0} = 0,0020$ $\varepsilon_{cu} = 0,0035$	$\sigma_{fy} = 3913\ daN/cm^2$ $\varepsilon_y = 0,00186$ $\varepsilon_{fu} = 0,01$ $b = 0,034$ $\sigma_{ft} = \sigma_{fy}\left(1 + b\frac{\varepsilon_{fu}-\varepsilon_y}{\varepsilon_y}\right) = 4495$

Si utilizzano le unità di misura *daN* e *cm*, e nel seguito si omettono le unità di misura delle varie grandezze.

12.5.1 Sezione rettangolare

Caratteristiche: B=30, H=50, copriferro c=4, armatura superiore e inferiore 4Ø16=8,04. Sollecitazioni: (N, M_x, M_y)=(-10000, -1561840, 0). Le sollecitazioni sono prossime ad un valore sul dominio di resistenza della sezione.

Modello *elastico-perfettamente plastico*:

ε_c	-0,003497
ε_f	0,022766
σ_c	-141
σ_f	3913

con tale modello la sezione è ottimizzata, la stessa sezione verificata con il modello *incrudente* fornisce:

ε_c	-0,001332
ε_f	0,003602
σ_c	125
σ_f	4038

Si nota quindi che a parità di sforzo normale la sezione è in grado di sopportare un momento maggiore, in particolare per $M_x = -1748000$ risulta $\varepsilon_f \approx 0,01$.

La procedura consente di determinare il dominio di resistenza tridimensionale (figura 12.3 a fronte), e una volta noto è possibile sezionarlo per valori di N costante ottenendo diagrammi espressivi che è possibile usare per la verifica grafica. Vedi figura 12.4 a pagina 122.

12.5.2 Sezione generica

La sezione, in figura 12.5 a pagina 122, è armata con 20Ø16, i diagrammi che seguono sono relativi al modello elastico-perfettamente plastico.

Bibliografia

Fiorenza, R. e Greco, D. (1986), *Lezioni di analisi matematica*, vol. 2, Liguori Editore.

Franciosi, V. (1969), *Scienza delle costruzioni*, vol. 2, Liguori Editore.

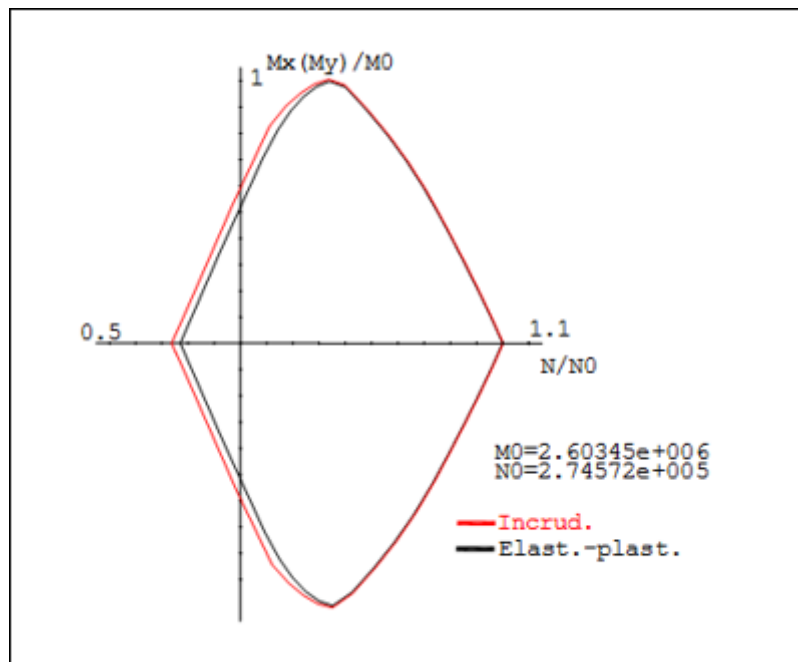



Figura 12.2 – Dominio di resistenza per il modello elasto-plastico e incrudente

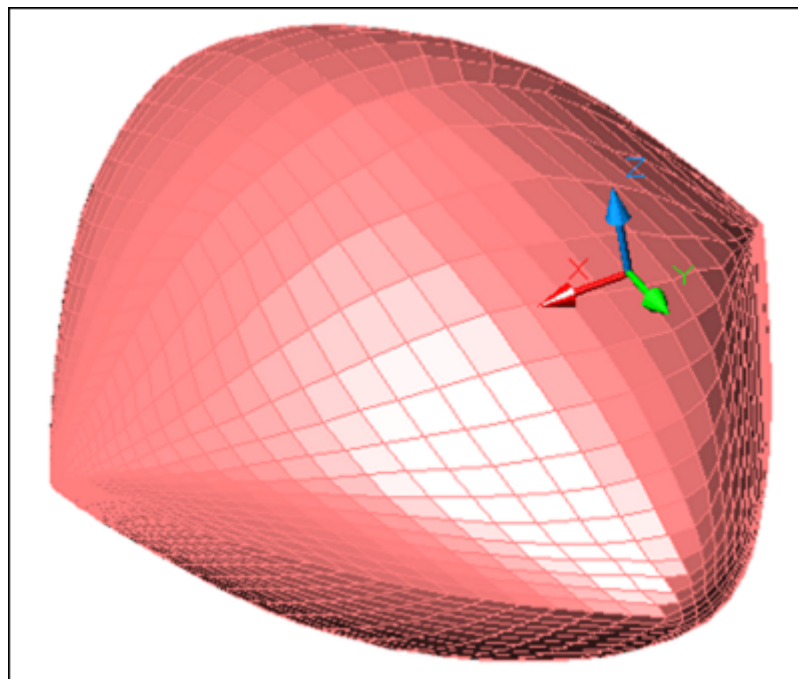



Figura 12.3 – Dominio 3D (N, M_x, M_y)

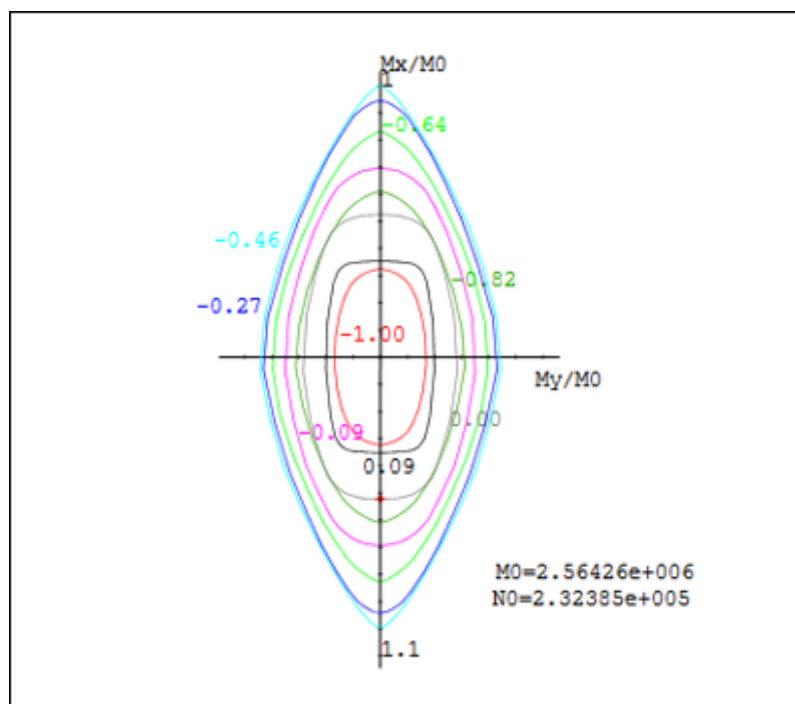



Figura 12.4 – Domini di resistenza, per N costante, per la sezione rettangolare

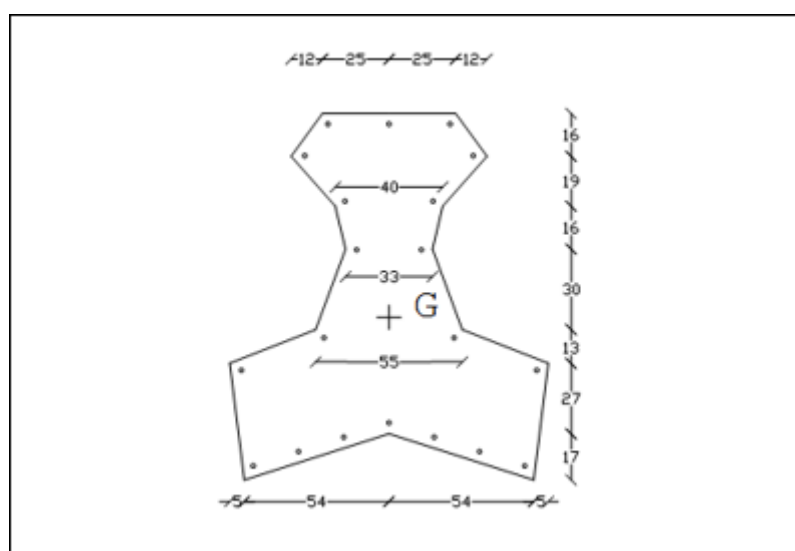



Figura 12.5 – Geometria della sezione generica

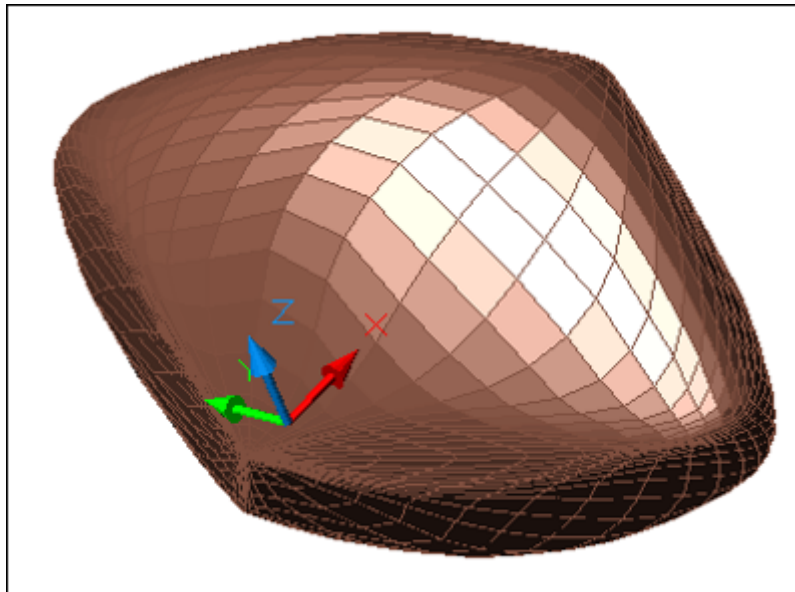



Figura 12.6 – Dominio 3D (N, M_x, M_y) per la sezione generica

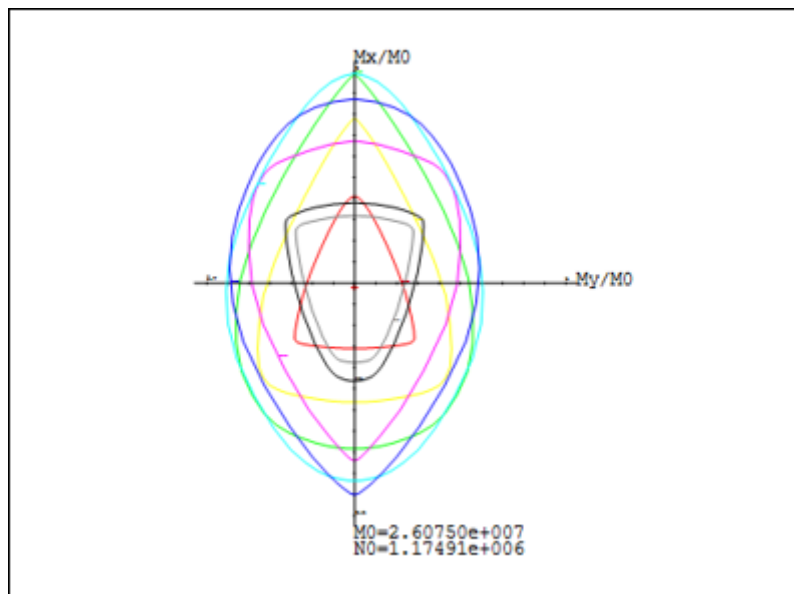



Figura 12.7 – Domini di resistenza, per N costante, per la sezione generica

Giangreco, E. (1982), *Teoria e tecnica delle costruzioni*, vol. 1, Liguori Editore.

13 Verifica delle sezioni composte

13.1 Introduzione

L'applicativo [Verifica Sezioni], § 16.4.3 a pagina 224 consente di verificare le sezioni comunemente usate per il calcestruzzo armato, definite attraverso un modello parametrico, e le nuove sezioni, completamente generiche, costituite anche da materiali diversi. In tal caso si parla di *sezioni composte*.

13.2 Modello di una sezione composta

Si intende per *sezione composta* un insieme di domini piani connessi o non, anche tra di essi disgiunti, definiti attraverso una serie di contorni costituiti da polilinee. Ad ognuno di questi domini è associato un modello di materiale che ne definisce il comportamento meccanico. L'esempio di figura 13.1 nella pagina seguente si riferisce a una sezione esagonale con cinque fori.

Il contorno esterno e ogni foro è rappresentato da una polilinea; la parte tratteggiata è costituita dal materiale che si vuole verificare. Vi è da notare che le sezioni possono essere costituite da più elementi come quello nella figura 13.1 nella pagina successiva disgiunti tra loro, l'unica ipotesi che viene fatta è quella che le varie parti siano legate, tra di loro, attraverso qualche tipo di collegamento che possa giustificare l'ipotesi di *conservazione piana delle sezioni*.

Nella figura 13.2 nella pagina seguente è mostrato un esempio di sezione costituita da due domini disgiunti formati da un rettangolo e un pentagono forato; ovviamente le due parti possono essere costituite da materiali a comportamento diverso.

Una particolare tipologia di sezione composta è quella per cui vi è un unico contorno esterno e vi sono parti interne costituite da materiali diversi come, ad esempio, una sezione di un pilastro con anima in acciaio.

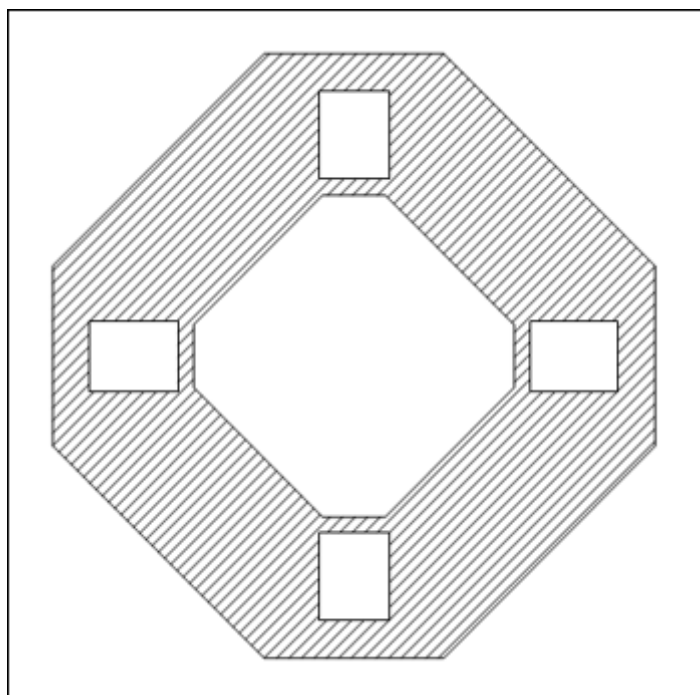



Figura 13.1 – Sezione esagonale con cinque fori

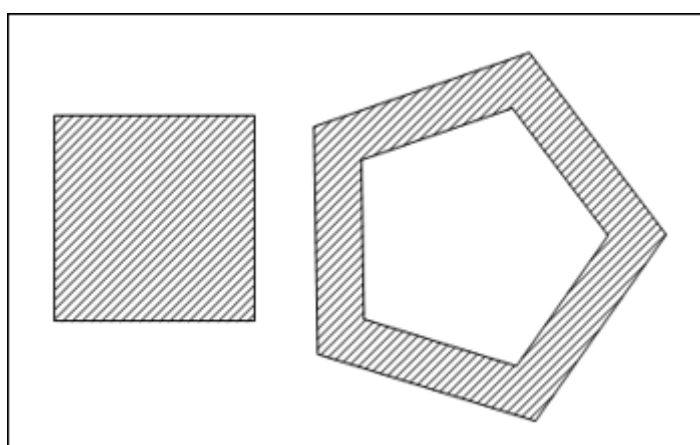



Figura 13.2 – Sezione disgiunta

In figura 13.3 è rappresentata una sezione di un pilastro rettangolare in calcestruzzo armato con anima in acciaio a sezione HEA.

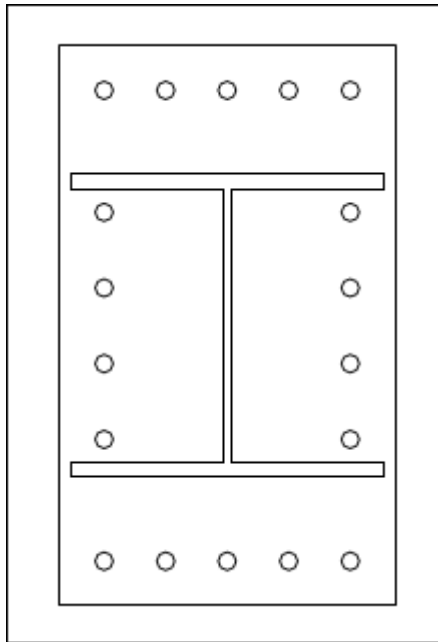



Figura 13.3 – Esempio di sezione composta per un pilastro

La definizione di una tale sezione comporta la definizione di tre contorni:

- il contorno esterno che definisce il rettangolo;
- il contorno interno che definisce il foro nel calcestruzzo, che potrebbe rappresentare il materiale asportato per alloggiare l'HEA;
- il contorno dell'HEA che è inserita nel calcestruzzo.

La sezione può quindi essere immaginata come il risultato dell'assemblaggio delle parti rappresentati nella figura 13.4 nella pagina seguente.

Una ulteriore nota riguarda il fatto che i contorni non si debbano intersecare tra loro ma al più si possano sovrapporre, come nell'esempio precedente.

13.3 Modelli meccanici

Ad ogni elemento della sezione (dominio) è assegnato un modello meccanico che ne definisce il comportamento. I modelli meccanici disponibili sono:

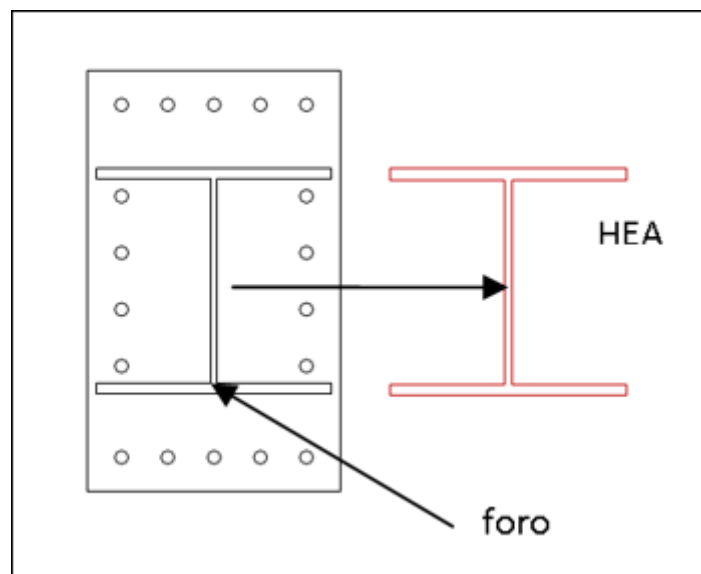



Figura 13.4 – Scomposizione di una sezione composta

a) Calcestruzzo armato con modello parabola rettangolo per il calcestruzzo e modello elasto - plastico con incrudimento per l'acciaio (vedi fig. 13.5(a) nella pagina successiva);

b) Modello elasto - plastico con incrudimento (tipicamente acciaio da carpenteria)(vedi fig. 13.5(b));

c) Modello elastico lineare con comportamento differente a trazione e compressione (vedi fig. 13.5(c));

d) Calcestruzzo armato lineare resistente a trazione e non;

e) Modello plastico lineare con incrudimento e non con differente comportamento a trazione e compressione (vedi fig. 13.5(d)).

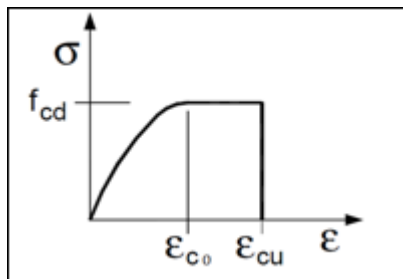
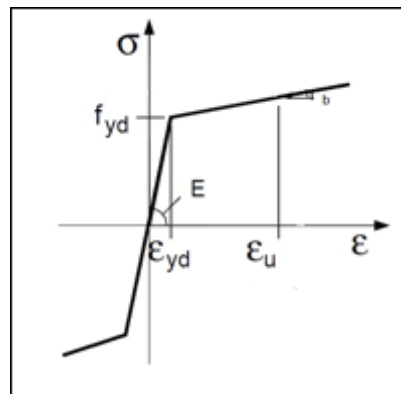
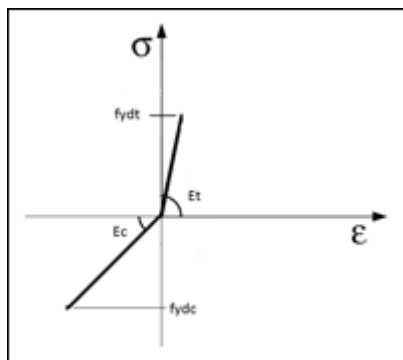
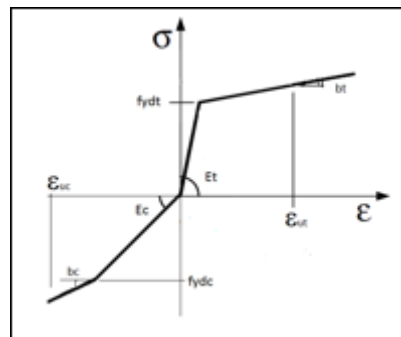
I modelli a), b), e) in genere sono usati per le verifiche agli SLU; la rottura del materiale è attinta al raggiungimento della deformazione ultima, fa eccezione il modello b) quanto sia stato definito come elastico perfettamente plastico nel qual caso non si ha mai rottura. I modelli c) e d) in genere sono usati per la verifica alle tensioni ammissibili e la rottura è attinta al raggiungimento della tensione di rottura. Ovviamente è consentito combinare le due tipologie di materiale. I vari modelli così definiti possono descrivere il comportamento dei più diversi materiali, ad esempio il modello e) può essere definito per modellare placcaggi in FRP assumendo resistenza a compressione e modulo elastico a compressione nulli e la deformazione ultima a trazione uguale a quella corrispondente alla resistenza a snervamento a trazione.

(a) Calcestruzzo armato

(b) Modello elasto-plastico con incrudimento

(c) Modello elastico lineare

(d) Modello plastico lineare

Figura 13.5 – Modelli meccanici

14 La torsione e il taglio per le sezioni generiche

14.1 Introduzione

Il calcolo strutturale attraverso elementi finiti, quali beams, comporta l'introduzione di una serie di parametri tra i quali *centro di taglio*, *fattori di taglio* e *fattori di torsione*.

Il presente capitolo indaga sulla possibilità di calcolare questi parametri per sezioni generiche comunque connesse ma prive di sezioni staccate (tipicamente sezioni composte in acciaio), i cui contorni (esterno ed interno) siano lineari a tratti fornendo una procedura di calcolo automatica attraverso la soluzione di due problemi al contorno di *Neumann* relativamente alle sollecitazioni di taglio e di torsione.

La soluzione del problema consente altresì di calcolare i valori delle tensioni tangenziali derivanti da tali sollecitazioni. Il calcolo del centro di taglio, inteso come punto per cui deve passare la sollecitazione di taglio affinché le sollecitazioni di taglio e torsione siano ortogonali in energia, non può prescindere dal risolvere il problema della torsione in quanto il centro di taglio dipende dalla distribuzione delle sollecitazioni di torsione e di taglio contemporaneamente.

Nel seguito si assume che al lettore siano familiari i concetti di tensione e deformazione della *Scienza delle Costruzioni* e della meccanica del continuo, qui si riportano solo sommariamente i risultati teorici della trave del *De Saint Venant*, rimandando ai testi specifici per il lettore che desideri maggiori chiarimenti.

La procedura automatica denominata [SPC], § 16.4.1 a pagina 191 è implementata come *addon* di **IperSpace**®.

14.2 Il problema elastico

È assegnato l'elemento cilindrico nello spazio tridimensionale riferito al sistema (O,x,y,z); l'asse del cilindro è l'asse z mentre la base Ω è nel piano (x,y).

In generale assegnati i parametri meccanici del materiale E e ν le equazioni dell'equilibrio elastico, in assenza di forze di massa, ed assumendo quali incognite le componenti di spostamento u, v e w, si scrivono:

$$\begin{aligned} \Delta u + \frac{1}{1-2\nu}\frac{\partial\Theta}{\partial x} &= 0 \\ \Delta v + \frac{1}{1-2\nu}\frac{\partial\Theta}{\partial y} &= 0 \\ \Delta w + \frac{1}{1-2\nu}\frac{\partial\Theta}{\partial z} &= 0 \end{aligned} \tag{14.1}$$

con $\Theta = \varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z$.

Tali equazioni possono essere scritte in termini di tensioni:

posto $T = \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z$ vale la relazione $\Theta = \frac{1-2\nu}{E}T$ derivando la prima delle (14.1) rispetto ad x ed utilizzando le relazioni di *Navier* per il materiale elastico, si ottiene:

$$\Delta\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{1}{1-2\nu}\frac{\partial^2\Theta}{\partial x^2} = \Delta\varepsilon_x + \frac{1}{1-2\nu}\frac{1-2\nu}{E}\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{1}{E}\Delta\sigma_x - \frac{\nu}{E}\Delta\left(\sigma_y + \sigma_z\right) + \frac{1}{E}\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = 0 \text{ da cui}$$
$$(1+\nu)\,\Delta\sigma_x - \nu\Delta T + \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = 0$$

Analogamente derivando la seconda rispetto ad y e la terza rispetto a z si ottengono le altre analoghe relazioni:

$$\begin{aligned} (1+\nu)\,\Delta\sigma_y - \nu\Delta T + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} &= 0 \\ (1+\nu)\,\Delta\sigma_z - \nu\Delta T + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} &= 0 \end{aligned}$$

Sommando le tre relazioni si arriva a:

$$(1+\nu)\,\Delta T - 3\nu\Delta T + \Delta T = 2\,(1-\nu)\,\Delta T = 0 \text{ essendo } 1-\nu \neq 0 \text{ segue } \Delta T = 0$$

Pertanto le tre equazioni si semplificano in :

$$\begin{aligned} (1+\nu)\,\Delta\sigma_x + \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} &= 0 \\ (1+\nu)\,\Delta\sigma_y + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} &= 0 \\ (1+\nu)\,\Delta\sigma_z + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} &= 0 \end{aligned} \tag{14.2}$$

Analoghe relazioni possono essere derivate rispetto alle tensioni tangenziali; derivando la prima delle (14.1) rispetto a y e la seconda rispetto a x e sommando tra loro si ottiene:

$$\Delta\left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x}\right) + \frac{2}{1-2\nu}\frac{\partial^2\Theta}{\partial x\partial y} = 0 \Rightarrow \Delta\gamma_{xy} + \frac{2}{1-2\nu}\frac{\partial^2\Theta}{\partial x\partial y} = 0 \Rightarrow$$
$$\frac{1}{G}\Delta\tau_{xy} + \frac{2}{1-2\nu}\frac{1-2\nu}{E}\frac{\partial^2 T}{\partial x\partial y} = 0 \Rightarrow \Delta\tau_{xy} + \frac{2G}{E}\frac{\partial^2 T}{\partial x\partial y} = 0$$

ma $G = \frac{E}{2(1+\nu)}$ da cui:

$$(1+\nu)\,\Delta\tau_{xy} + \frac{\partial^2 T}{\partial x \partial y} = 0$$

Simili relazioni possono essere derivate dalle (14.1) per le altre due tensioni tangenziali ottenendo quindi altre tre relazioni:

$$\begin{aligned}(1+\nu)\,\Delta\tau_{xy} + \tfrac{\partial^2 T}{\partial x \partial y} &= 0\\ (1+\nu)\,\Delta\tau_{zy} + \tfrac{\partial^2 T}{\partial y \partial z} &= 0\\ (1+\nu)\,\Delta\tau_{zx} + \tfrac{\partial^2 T}{\partial x \partial z} &= 0\end{aligned} \tag{14.3}$$

Le (14.2) e le (14.3) rappresentano le relazioni di compatibilità in termini di tensioni, a queste vanno associate le tre equazioni di equilibrio indefinito:

$$\begin{aligned}\tfrac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \tfrac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \tfrac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} &= 0\\ \tfrac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \tfrac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \tfrac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} &= 0\\ \tfrac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \tfrac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \tfrac{\partial \sigma_z}{\partial z} &= 0\end{aligned} \tag{14.4}$$

Queste vanno accompagnate con le equazioni di equilibrio alla rotazione dell'elemento infinitesimo che comportano che $\tau_{ij} = \tau_{ji}\,(i, j = x, y, z)$. Quindi nel seguito si scriverà indifferentemente τ_{ij} oppure τ_{ji}.

Per il cilindro mono-dimensionale si assumono le usuali ipotesi di superficie laterale scarica e stato tensionale caratterizzato da $\sigma_y = \sigma_z = \tau_{yz} = 0$, nel seguito si assumerà che O coincida con il baricentro della sezione del cilindro.

14.3 Torsione

Sulla sezione Ω assegnata la seguente distribuzione di spostamenti:

$$\begin{aligned}u &= \tfrac{c}{E} yz\\ v &= -\tfrac{c}{E} xz\\ w &= \tfrac{c}{E}\Psi(x, y)\end{aligned}$$

si ottiene lo stato tensionale definito da :

$$\begin{aligned}\sigma_z &= 0\\ \tau_{zx} &= \tfrac{Gc}{E}\left(\tfrac{\partial \Psi}{\partial x} + y\right)\\ \tau_{zy} &= \tfrac{Gc}{E}\left(\tfrac{\partial \Psi}{\partial y} - x\right)\end{aligned}$$

Le (14.2) sono identicamente soddisfatte come pure la prima delle (14.3).

La prima e la seconda delle (14.3) porgono:

$$\begin{aligned}\Delta\left(\tfrac{\partial \Psi}{\partial y} - x\right) = 0 &\Rightarrow \tfrac{\partial}{\partial y}\Delta\Psi = 0\\ \Delta\left(\tfrac{\partial \Psi}{\partial x} + y\right) = 0 &\Rightarrow \tfrac{\partial}{\partial x}\Delta\Psi = 0\end{aligned}$$

ossia $\Delta\Psi = k$.

La terza delle (14.4) porge $\Delta\Psi = 0$ quindi il soddisfacimento della equazione di equilibrio soddisfa tutte le equazioni di compatibilità. Le equazioni al contorno impongono che il vettore delle tensioni tangenziali sia tangente al contorno stesso ossia:

$$\tau_{zx}\alpha_{nx} + \tau_{zy}\alpha_{ny} = 0 \text{ che si traduce in } \frac{\partial\Psi}{\partial n} = x\alpha_{ny} - y\alpha_{nx}$$

Inoltre essendo $div\tau_z = 0$ è possibile far derivare le tensioni da una funzione scalare secondo le relazioni:

$$\begin{aligned} \tau_{zx} &= \frac{Gc}{E}\frac{\partial\omega}{\partial y} \\ \tau_{zy} &= -\frac{Gc}{E}\frac{\partial\omega}{\partial x} \\ \frac{\partial\omega}{\partial y} &= \frac{\partial\Psi}{\partial x} + y \\ \frac{\partial\omega}{\partial x} &= -\frac{\partial\Psi}{\partial y} + x \end{aligned} \tag{14.5}$$

Per tale funzione le condizioni al contorno si traducono in:
$\frac{\partial\omega}{\partial y}\alpha_{nx} - \frac{\partial\omega}{\partial x}\alpha_{ny} = 0 \Rightarrow \frac{\partial\omega}{\partial y}\alpha_{ty} + \frac{\partial\omega}{\partial x}\alpha_{tx} = 0 \Rightarrow \frac{d\omega}{ds} = 0$
dove t è il versore tangente al contorno.
La funzione quindi è costante sul contorno della sezione.
Si osserva che $-\frac{c}{E} = \theta'$ con θ' angolo di rotazione unitario.

14.4 Taglio

Si consideri uno stato tensionale della trave definito dalle seguenti relazioni:

$$\begin{aligned} \sigma_z &= a_x(z)\,x + a_y(z)\,y \\ \tau_{zx} &= \frac{\partial\phi}{\partial x} - f_1(y) \\ \tau_{zy} &= \frac{\partial\phi}{\partial y} - f_2(x) \end{aligned} \tag{14.6}$$

in cui la tensione normale dipende linearmente da x e y.
f_1 e f_2 sono date da:

$$f_1(y) = -\frac{\nu}{2(1+\nu)}a_x'(y-y_0)^2; \qquad f_2(x) = -\frac{\nu}{2(1+\nu)}a_y'(x-x_0)^2$$

Dove " ′ " indica la derivazione rispetto ad z, inoltre $a_x(z), a_y(z)$ sono funzioni lineari di z, il riferimento sia generico.

La terza equazione delle (14.4) porge:

$$\begin{aligned} &\frac{\partial\tau_{zx}}{\partial x} + \frac{\partial\tau_{zy}}{\partial y} + \frac{\partial\sigma_z}{\partial z} = 0 \Rightarrow \frac{\partial\tau_{zx}}{\partial x} + \frac{\partial\tau_{xz}}{\partial y} + f_0(x,y) = 0, f_0(x,y) = a_x'x + a_y'y \\ &\frac{\partial^2\phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\phi}{\partial y^2} + a_x'(x-x_0) + a_y'(y-y_0) = 0 \Rightarrow \Delta\phi + f_0(x,y) = 0 \end{aligned} \tag{14.7}$$

Inoltre le (14.2) e la prima delle (14.3) sono identicamente soddisfatte. Le ultime due delle (14.3) porgono:

$$\begin{array}{l}
(1+\nu)\,\Delta\left(\frac{\partial\phi}{\partial y}+\frac{\nu}{2(1+\nu)}a_y^{'}\left(x-x_0\right)^2\right)+\frac{\partial^2\left(a_x x+a_y y\right)}{\partial y\partial z}=0\Rightarrow\\
(1+\nu)\left(\frac{\partial\Delta\phi}{\partial y}+\frac{\nu}{(1+\nu)}a_y^{'}\right)+a_y^{'}=0\Rightarrow\frac{\partial\Delta\phi}{\partial y}+a_y^{'}=0\\
(1+\nu)\,\Delta\left(\frac{\partial\phi}{\partial x}+\frac{\nu}{2(1+\nu)}a_x^{'}\left(y-y_0\right)^2\right)+\frac{\partial^2\left(a_x x+a_y y\right)}{\partial x\partial z}=0\Rightarrow\\
(1+\nu)\left(\frac{\partial\Delta\phi}{\partial x}+\frac{\nu}{(1+\nu)}a_x^{'}\right)+a_x^{'}=0\Rightarrow\frac{\partial\Delta\phi}{\partial x}+a_x^{'}=0
\end{array}$$

che risultano soddisfatte dalla (14.7). I valori di y_0 e x_0 sono le coordinate di un punto, da determinare, per assicurare l'ortogonalità in energia delle sollecitazioni di taglio e torsione.

Valutiamo le caratteristiche della sollecitazione. Dalle (14.6) risulta che le uniche caratteristiche della sezione sono T_x, T_y e M_t.

Dalle (14.6) si osserva anche $\frac{\partial\tau_{zy}}{\partial y}+\frac{\partial\tau_{zx}}{\partial x}+f_0\left(x,y\right)=0$ per cui:

$$\begin{array}{l}
T_y=\int\limits_\Omega\tau_{zy}d\Omega=\int\limits_\Omega\left[\tau_{zy}+y\left(\frac{\partial\tau_{zy}}{\partial y}+\frac{\partial\tau_{zx}}{\partial x}+f_0\left(x,y\right)\right)\right]d\Omega=\\
=\int\limits_\Omega\left[\frac{\partial\left(y\tau_{zy}\right)}{\partial y}+\frac{\partial\left(y\tau_{zx}\right)}{\partial x}+yf_0\left(x,y\right)\right]d\Omega=\\
=\int\limits_{\partial\Omega}y\left(\tau_{zy}\alpha_{ny}+\tau_{zx}\alpha_{nx}\right)ds+\int\limits_\Omega yf_0\left(y,z\right)d\Omega=\\
=\int\limits_\Omega yf_0\left(y,z\right)d\Omega=\int\limits_\Omega y\left(a_y^{'}y+a_x^{'}x\right)d\Omega=a_y^{'}I_{yy}+a_x^{'}I_{xy}
\end{array}$$

$$\begin{array}{l}
T_x=\int\limits_\Omega\tau_{zx}d\Omega=\int\limits_\Omega\left[\tau_{zx}+x\left(\frac{\partial\tau_{zy}}{\partial y}+\frac{\partial\tau_{zx}}{\partial x}+f_0\left(x,y\right)\right)\right]d\Omega=\\
=\int\limits_\Omega\left[\frac{\partial\left(x\tau_{xy}\right)}{\partial y}+\frac{\partial\left(x\tau_{xz}\right)}{\partial x}+xf_0\left(x,y\right)\right]d\Omega=\\
=\int\limits_{\partial\Omega}x\left(\tau_{zy}\alpha_{ny}+\tau_{zx}\alpha_{nx}\right)ds+\int\limits_\Omega xf_0\left(x,y\right)d\Omega=\\
=\int\limits_\Omega xf_0\left(y,z\right)d\Omega=\int\limits_\Omega x\left(a_y^{'}y+a_x^{'}x\right)d\Omega=a_y^{'}I_{xy}+a_x^{'}I_{xx}
\end{array}$$

In queste relazioni I_{xx}, I_{yy} e I_{xy} sono i momenti d'inerzia della sezione riferiti al baricentro (rispetto alla usuale convenzione il momento d'inerzia rispetto ad un asse è quello che ha il doppio pedice rispetto all'altro asse, in quanto qui si usa la convenzione $I_{ab}=\int ab d\Omega$).

Da queste relazioni è possibile ricavare $a_x^{'}, a_y^{'}$.

$$\left[\begin{array}{cc}I_{xx}&I_{xy}\\I_{xy}&I_{yy}\end{array}\right]\left[\begin{array}{c}a_x^{'}\\a_y^{'}\end{array}\right]=\left[\begin{array}{c}T_x\\T_y\end{array}\right]\Rightarrow a_x^{'}=\frac{T_xI_{yy}-T_yI_{xy}}{I_{xx}I_{yy}-I_{xy}^2},\;a_y^{'}=-\frac{T_xI_{xy}-T_yI_{xx}}{I_{xx}I_{yy}-I_{xy}^2}\tag{14.8}$$

Il momento torcente indotto dalle tensioni è:

$$M_t=\int\limits_\Omega\left(\tau_{zy}x-\tau_{zx}y\right)d\Omega$$

Per calcolarlo utilizziamo le (14.5) della torsione da cui ricavando la x e la y: $x = \frac{\partial\omega}{\partial x} + \frac{\partial\Psi}{\partial y}$ e $y = \frac{\partial\omega}{\partial y} - \frac{\partial\Psi}{\partial x}$, si ottiene:

$$M_t = \int_\Omega \left(\tau_{zy}x - \tau_{zx}y\right) d\Omega = \int_\Omega \left(\tau_{zy}\left(\frac{\partial\omega}{\partial x} + \frac{\partial\Psi}{\partial y}\right) - \tau_{zx}\left(\frac{\partial\omega}{\partial y} - \frac{\partial\Psi}{\partial x}\right)\right) d\Omega =$$
$$= \int_\Omega \left(\tau_{zy}\frac{\partial\omega}{\partial x} - \tau_{zx}\frac{\partial\omega}{\partial y}\right) d\Omega + \int_\Omega \left(\tau_{zy}\frac{\partial\Psi}{\partial y} + \tau_{zx}\frac{\partial\Psi}{\partial x}\right) d\Omega$$

risulta che:

$$\int_\Omega \left(\tau_{zy}\frac{\partial\Psi}{\partial y} + \tau_{zx}\frac{\partial\Psi}{\partial x}\right) d\Omega = \int_\Omega \frac{\partial\left(\Psi\tau_{zy}\right)}{\partial y} + \frac{\partial(\Psi\tau_{zx})}{\partial x} d\Omega - \int_\Omega \Psi\left(\frac{\partial\tau_{zy}}{\partial y} + \frac{\partial\tau_{zx}}{\partial x}\right) d\Omega =$$
$$= \int_{\partial\Omega} \Psi\left(\tau_{zy}\alpha_{ny} + \tau_{zx}\alpha_{nx}\right) dl + \int_\Omega \Psi f_0 d\Omega =$$
$$= \int_\Omega \Psi f_0 d\Omega$$

in quanto il penultimo integrale è nullo per le condizioni al contorno. Risulta quindi:

$$M_t = \int_\Omega \left(\tau_{zy}x - \tau_{zx}y\right) d\Omega = \int_\Omega \left(\tau_{zy}\frac{\partial\omega}{\partial x} - \tau_{zx}\frac{\partial\omega}{\partial y}\right) d\Omega + \int_\Omega \Psi f_0 d\Omega =$$
$$= \int_\Omega \left(\tau_{zy}\frac{\partial\omega}{\partial x} - \tau_{zx}\frac{\partial\omega}{\partial y}\right) d\Omega + \int_\Omega \Psi\left(a'_y y + a'_x x\right) d\Omega =$$
$$= \int_\Omega \left(\tau_{zy}\frac{\partial\omega}{\partial x} - \tau_{zx}\frac{\partial\omega}{\partial y}\right) d\Omega + \left(a'_x I_{x\psi} + a'_y I_{y\psi}\right)$$

Imponendo che la condizione di taglio sia ortogonale in energia a quella di torsione occorre che il lavoro mutuo sia nullo. Detto L_{M_tT} il lavoro mutuo tra la sollecitazione di torsione e taglio bisogna imporre che risulti L_{M_tT}=0 dato che nella torsione la tensione normale è nulla e in ambedue le sollecitazioni le tensioni tangenziali non dipendono da z.

Potendo riferirsi al lavoro mutuo per unità di lunghezza, questo è dato da:

$$L_{M_tT} = \int_\Omega \left(\tau^T_{zy}\gamma^M_{zy} + \tau^T_{zx}\gamma^M_{zx}\right) d\Omega = 0$$

in base alle (14.5) la precedente diventa:

$$\int_\Omega \left(\tau_{zx}\frac{\partial\omega}{\partial y} - \tau_{zy}\frac{\partial\omega}{\partial x}\right) d\Omega = 0$$

Quindi il momento torcente che si accompagna alla sollecitazione di taglio diventa:

$$M_t = \int_\Omega \left(\tau_{zy}x - \tau_{zx}z\right) d\Omega = a'_y I_{y\psi} + a'_z I_{x\psi}$$

in cui $I_{y\psi}$ e $I_{x\psi}$ possono essere visti come momenti statici di Ψ rispetto agli assi.

In base alle (14.8), M_t assume l'espressione:

$$M_t = a_y^{'} I_{y\psi} + a_x^{'} I_{x\psi} = -\frac{T_x I_{xy} - T_y I_{xx}}{I_{xx} I_{yy} - I_{xy}^2} I_{y\psi} + \frac{T_x I_{yy} - T_y I_{xy}}{I_{xx} I_{yy} - I_{xy}^2} I_{x\psi} =$$
$$-T_x \frac{I_{xy} I_{y\psi} - I_{yy} I_{x\psi}}{I_{xx} I_{yy} - I_{xy}^2} + T_y \frac{I_{xx} I_{y\psi} - I_{xy} I_{x\psi}}{I_{xx} I_{yy} - I_{xy}^2} = -T_x y_c + T_y x_c$$

con

$$x_c = \frac{I_{xx} I_{y\psi} - I_{xy} I_{x\psi}}{I_{xx} I_{yy} - I_{xy}^2}$$
$$y_c = -\frac{I_{yy} I_{x\psi} - I_{xy} I_{y\psi}}{I_{xx} I_{yy} - I_{xy}^2}$$

che a ragione possono essere chiamate coordinate del *centro di taglio*.

La condizione $L_{M_t T}$=0 consentirà di determinare y_0 e x_0 che erano rimaste in sospeso infatti:

$$0 = \int_\Omega \left(\tau_{zx} \frac{\partial \omega}{\partial y} - \tau_{zy} \frac{\partial \omega}{\partial x}\right) d\Omega = \int_\Omega \left(\left(\frac{\partial \phi}{\partial x} - f_1(y)\right) \frac{\partial \omega}{\partial y} - \left(\frac{\partial \phi}{\partial y} - f_2(x)\right) \frac{\partial \omega}{\partial x}\right) d\Omega =$$
$$= \int_\Omega \frac{\partial \phi}{\partial x} \frac{\partial \omega}{\partial y} - \frac{\partial \phi}{\partial y} \frac{\partial \omega}{\partial x} d\Omega - \int_\Omega \left(f_1(y) \frac{\partial \omega}{\partial y} - f_2(x) \frac{\partial \omega}{\partial x}\right) d\Omega =$$
$$= \int_{\partial\Omega} \phi \left(\frac{\partial \omega}{\partial y} \alpha_{nx} - \frac{\partial \omega}{\partial x} \alpha_{ny}\right) d\Omega - \int_\Omega \phi \left(\frac{\partial^2 \omega}{\partial x \partial y} - \frac{\partial^2 \omega}{\partial x \partial y}\right) d\Omega - \int_\Omega \left(f_1(y) \frac{\partial \omega}{\partial y} - f_2(x) \frac{\partial \omega}{\partial x}\right) d\Omega =$$
$$= -\int_\Omega \left(f_1(y) \frac{\partial \omega}{\partial y} - f_2(x) \frac{\partial \omega}{\partial x}\right) d\Omega = \frac{\nu}{2(1+\nu)} \int_\Omega \left(a_x^{'} (y - y0)^2 \frac{\partial \omega}{\partial y} - a_y^{'} (x - x0)^2 \frac{\partial \omega}{\partial x}\right) d\Omega$$

Questa deve valere per ogni $a_y^{'}, a_z^{'}$ per cui:

$$\int_\Omega \left(y^2 - 2yy_0 + y_0^2\right) \frac{\partial \omega}{\partial y} d\Omega = 0$$
$$\int_\Omega \left(x^2 - 2xx_0 + x_0^2\right) \frac{\partial \omega}{\partial x} d\Omega = 0$$

da cui essendo $\int_\Omega \frac{\partial \omega}{\partial y} d\Omega = \int_\Omega \frac{\partial \omega}{\partial x} d\Omega = 0$, perché la torsione ha risultanti $T_x = 0$, $T_y = 0$, si ha:

$$y_0 = \frac{\int_\Omega y^2 \frac{\partial \omega}{\partial y} d\Omega}{2 \int_\Omega y \frac{\partial \omega}{\partial y} d\Omega}; \qquad x_0 = \frac{\int_\Omega x^2 \frac{\partial \omega}{\partial x} d\Omega}{2 \int_\Omega x \frac{\partial \omega}{\partial x} d\Omega}$$

In alternativa si potrebbe assumere quale sollecitazione di taglio puro quella per cui le tensioni tangenziali hanno rotore a media nulla, in questo caso si otterrebbe:

$$rot\,(\tau_z) = \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial x} - \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial y} = \frac{\partial^2 \phi}{\partial x \partial y} - \frac{\partial f_2(x)}{\partial x} - \frac{\partial^2 \phi}{\partial x \partial y} + \frac{\partial f_1(y)}{\partial y} =$$
$$= \frac{\nu}{(1+\nu)} \left(a_y^{'} (x - x_0) - a_x^{'} (y - y_0)\right)$$

$$\int_{\Omega} rot\,(\tau_z)\,d\Omega = 0\;\forall a_x^{'}, a_y^{'} \Rightarrow \int_{\Omega} (y - y_0)\,d\Omega = 0,\; \int_{\Omega} (x - x_0)\,d\Omega = 0$$

da cui $y_0 = y_g$ e $x_0 = x_g$ in questo caso però non sarebbe garantita la ortogonalità in energia delle sollecitazioni di taglio e torsione.

14.5 Soluzione del problema

Si vuole ora determinare la soluzione del seguente problema: "**assegnata una sezione di forma qualsiasi determinare il fattore di torsione** q **ed i fattori di taglio** χ_x, χ_y, **e** χ_{xy}".

Si ricorda che il momento torcente che agisce su una sezione può essere posto nella forma:

$M_t = GI^*\theta'$ in cui $I^* = \frac{Ip}{q}$, d'altra parte $M_t = \int_{\Omega}\left(\tau_{zy}x - \tau_{zx}y\right)d\Omega$, inoltre l'energia di deformazione per unità di lunghezza del solido vale $E_1 = \frac{1}{2G}\int_{\Omega}\left(\tau_{zy}^2 + \tau_{zx}^2\right)d\Omega = \frac{1}{2}Mt\theta'$.

Queste relazioni consentono di scrivere:

$\int_{\Omega}\left(\tau_{zy}x - \tau_{zx}y\right)d\Omega = G\frac{Ip}{q}\frac{\int_{\Omega}\left(\tau_{zy}^2+\tau_{zx}^2\right)d\Omega}{GMt}$ da cui: $q = Ip\frac{\int_{\Omega}\left(\tau_{zy}^2+\tau_{zx}^2\right)d\Omega}{Mt\int_{\Omega}\left(\tau_{zy}x-\tau_{zx}y\right)d\Omega}$ e si osserva che q non dipende da M_t in quanto le tensioni sono proporzionali a M_t.

Analogamente per il taglio, nel caso di sezione generica l'energia di deformazione del tronco unitario relativa alle sole tensioni derivanti dal taglio è esprimibile nella forma: $E_1 = \frac{1}{2GA}(T_x^2\chi_x + T_y^2\chi_y + 2T_xT_y\chi_{xy})$ in cui il primo termine esprime l'energia connessa alle tensioni tangenziali derivanti da T_x, il secondo quella connessa alle tensioni tangenziali derivanti da T_y e il terzo l'energia mutua tra T_y e T_x.

La soluzione del problema del taglio si ottiene dalla sovrapposizione delle soluzioni che si ottengono dalle sollecitazioni di taglio secondo i singoli assi x e y.

Pertanto se si indica con τ_{zx}^x, τ_{zy}^x la soluzione connessa con $Tx = 1$, $Ty = 0$ e con τ_{zx}^y, τ_{zy}^y la soluzione connessa con $Ty = 1$, $Tx = 0$ è possibile scrivere: $\frac{1}{2GA}T_x^2\chi_x = \frac{1}{2G}\int_{\Omega}T_x^2\left({\tau_{zx}^{x}}^2 + \tau_{zy}^{x^2}\right)d\Omega$ da cui $\chi_x = A\int_{\Omega}\left(\tau_{zx}^{x^2} + \tau_{zy}^{x^2}\right)d\Omega$.

Analogamente per l'altra direzione otteniamo $\chi_y = A\int_{\Omega}\left({\tau_{zx}^{y}}^2 + \tau_{zy}^{y^2}\right)d\Omega$ e per l'energia mutua $\chi_{xy} = A\int_{\Omega}\left(\tau_{zx}^x\tau_{zx}^y + \tau_{zy}^x\tau_{zy}^y\right)d\Omega$.

Si osserva che i fattori di taglio, a differenza del fattore di torsione, non dipendono solo dalla forma della sezione, ma anche dal materiale tramite il *coefficiente di Poisson*.

Dunque la soluzione del problema posto si può ritenere ottenuta quando sono note le tensioni tangenziali relative alle sollecitazioni M_t, T_x e

T_y. Tali sollecitazioni sono note quando sono stati risolti i seguenti due problemi:

Torsione: determinare la funzione Ψ che soddisfa le seguenti equazioni: $\Delta\Psi = 0$ in Ω e $\tau_{zx}\alpha_{nx} + \tau_{zy}\alpha_{ny} = 0$ su $\partial\Omega$ che si traduce in $\frac{\partial\Psi}{\partial n} = x\alpha_{ny} - y\alpha_{nx}$.

Taglio: determinare la funzione ϕ che soddisfa le seguenti equazioni: $\Delta\phi + f_0(x, y) = 0$, $\quad f_0(x, y) = a_x^{'}x + a_y^{'}y$ in Ω e $\tau_{zx}\alpha_{nx} + \tau_{zy}\alpha_{ny} = 0$ su $\partial\Omega$ che si traduce in $\frac{\partial\phi}{\partial n} = f_1\alpha_{nx} + f_2\alpha_{ny}$.

Si osserva che la soluzione del taglio così posta non può essere risolta se non si risolve prima il problema della torsione in quanto la soluzione del taglio dipende dal punto (x_0,y_0) che è determinato in funzione della soluzione della torsione.

Entrambi i problemi, assumendo che le funzioni in gioco siano sufficientemente regolari possono essere così riassunti:

"**Assegnato un dominio piano $\Omega \subset R^2$ limitato con frontiera sufficientemente regolare, determinare la funzione φ che soddisfa le seguenti equazioni**"

$$\Delta\varphi = f \quad in\ \Omega \tag{14.9}$$

$$\frac{\partial\varphi}{\partial n} = u(x, y) \quad su\ \partial\Omega \tag{14.10}$$

Si consideri una funzione $\eta \in C^{\infty}(\Omega)$. Si moltiplichino ambo i membri della (14.9) per tale funzione ed si integri su Ω, si ottiene:

$$\int_{\Omega} \Delta\varphi\eta d\Omega = \int_{\Omega} f\eta d\Omega \text{ ma}$$
$$\int_{\Omega} \Delta\varphi\eta d\Omega = \int_{\partial\Omega} \eta\left(\nabla\varphi \bullet \vec{n}\right) dl - \int_{\Omega} \nabla\eta \bullet \nabla\varphi d\Omega = \int_{\partial\Omega} \eta u dl - \int_{\Omega} \nabla\eta \bullet \nabla\varphi d\Omega$$

dove $\bullet$ è il prodotto scalare ed $\boldsymbol{n}$ la normale esterna ad Ω, ossia:

$$-\int_{\Omega} \nabla\eta \bullet \nabla\varphi d\Omega = -\int_{\partial\Omega} \eta u dl + \int_{\Omega} f\eta d\Omega \forall\eta \in C^{\infty}(\Omega)$$

ovvero:

$$\int_{\Omega} \nabla\eta \bullet \nabla\varphi d\Omega = \int_{\partial\Omega} \eta u dl - \int_{\Omega} f\eta d\Omega \forall\eta \in C^{\infty}(\Omega) \tag{14.11}$$

Posto:

$$(\varphi, \eta) = g_{f,u}(\eta) \tag{14.12}$$

dove $(\cdot,\cdot)$ indica il prodotto scalare:

$$(\varphi, \eta) = \int_{\Omega} \nabla\eta \bullet \nabla\varphi d\Omega$$

e g_f il funzionale lineare:

$$g_{f,u} = \int_{\partial\Omega} \eta u dl - \int_{\Omega} f\eta d\Omega$$

In base al *teorema di Riesz* esiste una unica soluzione del problema (14.12).

Affinché la (14.11) abbia soluzione è necessario che $\int_{\partial\Omega} udl = \int_{\Omega} fd\Omega$ infatti la (14.11) deve valere per $\forall\eta \in C^{\infty}(\Omega)$ e quindi anche per $\eta = c$.

Nel caso della torsione:

$$u(x, y) = x\alpha_{ny} - y\alpha_{nx}$$

$$f = 0$$

Integrando le due espressioni rispettivamente su $\partial\Omega$ e Ω:

$$\int_{\partial\Omega} \left(x\alpha_{ny} - y\alpha_{nx}\right) dl = \int_{\partial\Omega} \left(x\alpha_{tx} + y\alpha_{ty}\right) dl = \int_{\partial\Omega} (xdx + ydy)$$

l'ultimo integrale è nullo su ogni curva chiusa del piano e quindi anche sul contorno della sezione, mentre $\int_{\Omega} f(x, y)d\Omega = 0$ perché $f = 0$.

Nel caso del taglio:

$$u(x, y) = f_1\alpha_{nx} + f_2\alpha_{ny} = -\frac{\nu}{2(1+\nu)} \left[a_x^{'}(y - y_0)^2 \alpha_{nx} + a_y^{'}(x - x_0)^2 \alpha_{ny}\right]$$

$$f = f_0(x, y) = a_x^{'}x + a_y^{'}y$$

Analogamente integrando rispettivamente su $\partial\Omega$ e Ω:

$$\begin{aligned}
\int_{\partial\Omega} u(x, y)\, dl &= \int_{\partial\Omega} -\tfrac{\nu}{2(1+\nu)} \left[a_x^{'}(y - y_0)^2 \alpha_{nx} + a_y^{'}(x - x_0)^2 \alpha_{ny}\right] dl = \\
&= \int_{\partial\Omega} -\tfrac{\nu}{2(1+\nu)} \left[-a_x^{'}(y - y_0)^2 \alpha_{ty} + a_y^{'}(x - x_0)^2 \alpha_{tx}\right] dl = \\
&= \int_{\partial\Omega} -\tfrac{\nu}{2(1+\nu)} \left[-a_x^{'}(y - y_0)^2 dx + a_y^{'}(x - x_0)^2 dy\right]
\end{aligned}$$

tale integrale è nullo su ogni curva chiusa del piano in quanto è un differenziale esatto.

$$\int_{\Omega} f(x, y)d\Omega = \int_{\Omega} \left(a_x^{'}x + a_y^{'}y\right) d\Omega = \left(a_x^{'}x_g + a_y^{'}y_g\right)\Omega$$

affinché questo sia nullo occorre che il riferimento sia baricentrico.

Sotto tali ipotesi la soluzione di questo problema (equivalente al primo in una forma più debole) minimizza il funzionale:

$$J(\varphi) = \frac{1}{2} \int\limits_{\Omega} \nabla\varphi \bullet \nabla\varphi d\Omega - \int\limits_{\partial\Omega} \varphi u dl + \int\limits_{\Omega} f\varphi d\Omega$$

Tale problema si risolve, in via approssimata, con il metodo degli elementi finiti.

Diviso il dominio in elementi finiti, connessi tra di loro tramite nodi, su ognuno di essi si approssima la funzione incognita con una funzione nota che dipende solo dai valori che essa assume nei nodi del singolo elemento, detto:

- $q = [q_1, q_2, \ldots, q_m]^T$ il vettore colonna dei valori nodali del singolo elemento definito da m nodi
- $N(x, y) = [N_1(x, y), N_2(x, y), \ldots, N_m(x, y)]$ il vettore riga delle funzioni di forma per le quali si ha che N_i assume valore 1 in corrispondenza del nodo i e 0 negli altri

sul singolo elemento finito è possibile scrivere $\varphi = N(x, y)q$.

Sostituendo nel funzionale e trasformando gli integrali nella somma di integrali sui singoli elementi si ottiene:

$$J(\varphi) = \coprod \left(\frac{1}{2} \sum_{nel} \int\limits_{\Omega i} \left(q^t \nabla N^t \nabla N q + f N q \right) d\Omega + \sum_{nel} \int\limits_{\Omega i} f N q d\Omega - \sum_{nel_est} \int\limits_{\partial\Omega i} u N q dl \right)$$

in cui i prodotti sono gli usuali prodotti di matrici, e

- nel è il numero totale di elementi
- nel_est è il numero di elementi che hanno una parte del proprio contorno in comune con il contorno della sezione
- Ωi è il dominio relativo al generico elemento finito
- $\partial\Omega i$ è la parte di frontiera del dominio in comune con il contorno dell'elemento finito
- $\coprod$ indica l'operatore di assemblaggio una volta definito l'ordine delle incognite q per tutti i nodi

Nei precedenti integrali i valori di q non dipendono dalle coordinate, quindi posto:

$K = \coprod \left(\sum_{nel} \int_{\Omega i} \nabla N^t \nabla N d\Omega \right)$ e $F = \coprod \left(-\sum_{nel} \int_{\Omega i} f N d\Omega + \sum_{nee_est} \int_{\partial\Omega i} u N dl \right)$

risulta

$$J(\varphi) = \frac{1}{2} q^t K q - F q$$

Il minimo di tale funzione si ha quindi in corrispondenza della soluzione del sistema di equazioni lineari:

$$Kq = F$$

Si osserva che i valori della soluzione φ sono definiti a meno di una costante additiva arbitraria per cui per poter risolvere il sistema di equazioni occorre assegnare il valore della funzione in un nodo ed eliminare la corrispondente equazione dal sistema.

Una volta risolto, il sistema fornisce i valori della funzione incognita nei nodi e, attraverso le funzioni di interpolazione, i valori della funzione sul singolo elemento finito. Ciò consente di calcolare i valori delle tensioni che, in base alle relazioni trovate e trasformando gli integrali come somme di integrali sui singoli elementi, permette di risalire alle proprietà, cercate, della sezione.

14.5.1 Esempi

L'elemento finito utilizzato è un elemento triangolare a 6 nodi (i 3 vertici e i 3 punti medi dei lati) che consente di utilizzare funzioni di interpolazione quadratiche. Tali funzioni su ogni lato del triangolo dipendono solo dai valori nei nodi del lato in esame il che assicura la continuità lungo i contorni dei triangoli.

14.5.1.1 Sezione circolare

Si consideri una sezione circolare, come in figura 14.1 nella pagina successiva, con $R = 1$ e $\nu = 0$. Per una sezione circolare è noto che $q = 1$, $\chi_x = \chi_y \approx \frac{32}{27} = 1.18$, $\chi_{xy} = 0$. Il valore 32/27 è ottenuto usando la trattazione approssimata del taglio [Franciosi, 1969]. Il contorno è ottenuto dividendo la circonferenza in 20 parti.

TABELLA 14.1 – Risultati nel caso di sezione circolare a mesh rada

C	(0,0)
q	1
χ_x	1,16491
χ_y	1,1648
χ_{xy}	-0,000520812

χ_{xy} non è nullo per il fatto che i triangoli non sono distribuiti secondo la simmetria assiale.

Nelle figure 14.2 nella pagina seguente sono mostrati gli andamenti isotensionali nella sezione.

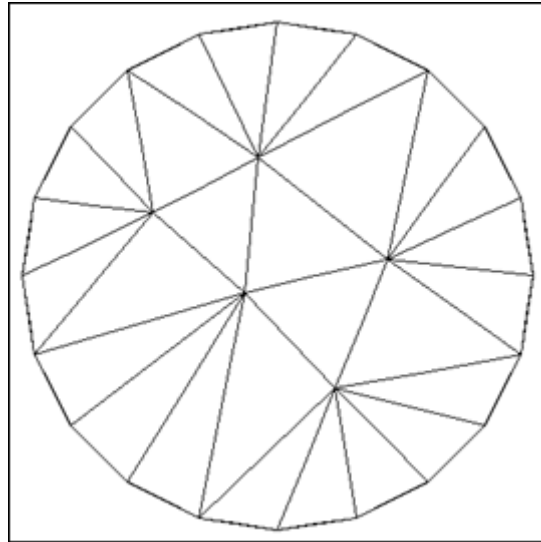



Figura 14.1 – Mesh a 77 nodi con 28 triangoli

La stessa sezione è calcolata considerando una mesh più fitta, come mostrato in figura 14.3 a pagina 145. Si riportano i risultati nella tabella 14.2.

Tabella 14.2 – Risultati nel caso di sezione circolare a mesh fitta

C	(0,0)
q	1
χ_x	1,16688
χ_y	1,16688
χ_{xy}	0

Si può osservare che pur aumentando la mesh di circa 30 volte i risultati non variano apprezzabilmente; una maggiore precisione si otterrebbe discretizzando il contorno con un maggior numero di segmenti.

14.5.1.2 Sezione rettangolare allungata

Si consideri una sezione di lunghezza $a = 2$ e altezza $b = 0,2$, $\nu = 0$.

(a) Tensioni da torsione (b) Tensioni T_x

(c) Tensioni T_y

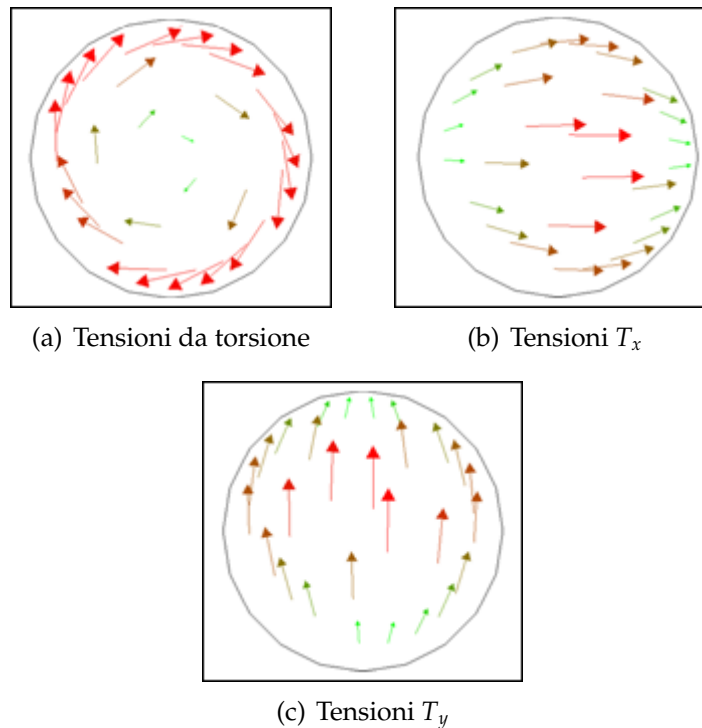



Figura 14.2 – Stati tensionali della sezione circolare con discretizzazione rada

È noto che $q = \frac{a^2}{4b^2} = 25$ (cfr. [Franciosi, 1969]) mentre $\chi_x = \chi_y \approx \frac{6}{5} = 1,2, \chi_{xy} = 0$.

Con una discretizzazione non molto fitta (vedi fig. 14.5 a pagina 147) si ottengono i risultati riportati nella tabella 14.3.

Tabella 14.3 – Risultati nel caso di sezione rettangolare a mesh rada

C	(0,0)
q	26,1084
χ_x	1,19927
χ_y	1,0561
χ_{xy}	-0,000118665

Infittendo la discretizzazione (vedi fig. 14.6 a pagina 147) si ottengono, invece, i risultati mostrati in tabella 14.4 a fronte.

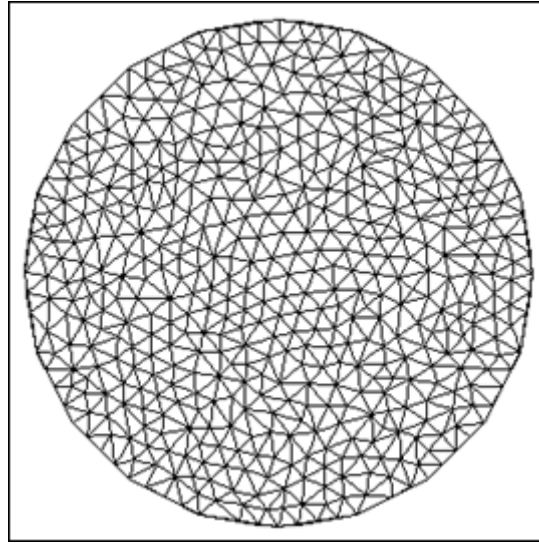



Figura 14.3 – Mesh a 2011 nodi con 968 triangoli

Tabella 14.4 – Risultati nel caso di sezione rettangolare a mesh fitta

C	(0,0)
q	26,1084
χ_x	1,2
χ_y	1,19994
χ_{xy}	0

14.5.1.3 Sezione ellittica a connessione doppia

Si consideri una sezione ellittica costituita da un dominio a connessione multipla le cui dimensioni sono riportate nella figura 14.8 a pagina 148, il *coefficiente di Poisson* è $\nu = 0,125$.

Con la discretizzazione mostrata in figura 14.9 a pagina 149, si ottengono i risultati di tabella 14.5.

Tabella 14.5 – Risultati nel caso di sezione ellittica

C	(3,47767×10^{-5},0)
q	1,56422
χ_x	1,17683
χ_y	9,04471
χ_{xy}	-1,02211×10^{-5}

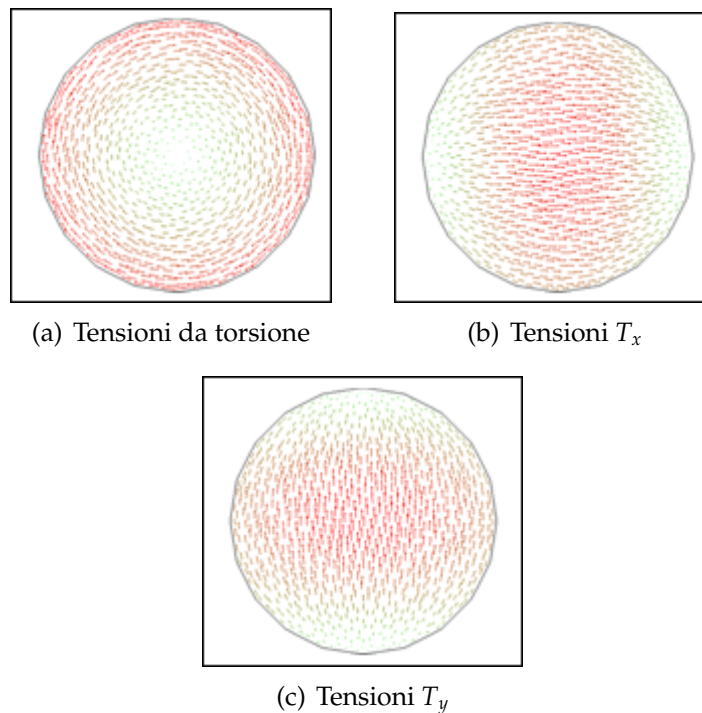
(a) Tensioni da torsione (b) Tensioni T_x

(c) Tensioni T_y

Figura 14.4 – Stati tensionali della sezione circolare con discretizzazione fitta

Bibliografia

BALDACCI, R. F. (1955-56), «Sull'integrazione diretta del problema di Saint-Venant in termini di tensioni», *Atti Accad. Scienze Torino*, (90), p. 604–610.

BALDACCI, R. F. (1957), «Soluzione generale diretta del problema di Saint-Venant», *Giorn. Genio Civile*, (95), p. 759–765.

FRANCIOSI, V. (1969), *Scienza delle costruzioni*, vol. 2, Liguori Editore.

GRUTTMANN, F. e WAGNER, W. (2001), «Shear correction factors in Timoshenko's beam theory for arbitrary shaped cross-sections», *Computational Mechanics*, vol. 27, p. 199–207.

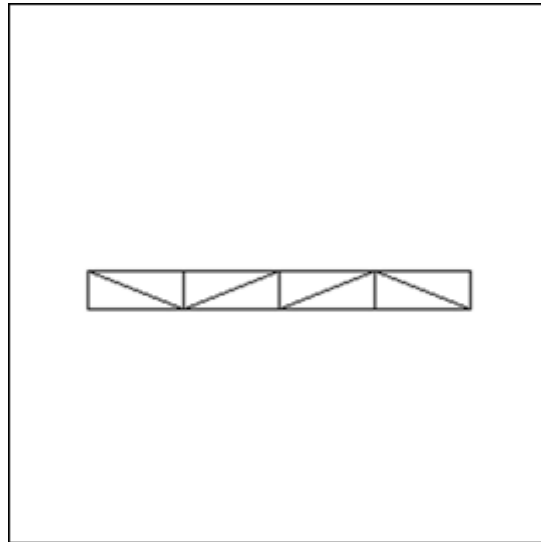



Figura 14.5 – Mesh a 27 nodi con 8 triangoli

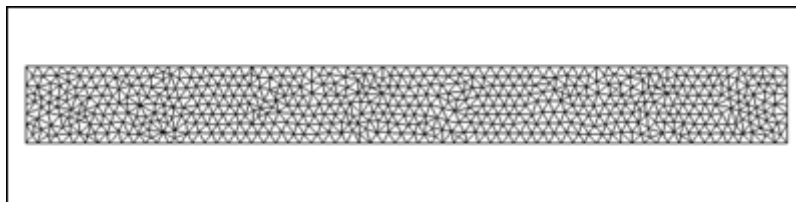



Figura 14.6 – Mesh a 2456 nodi con 1157 triangoli

(a) Tensioni da torsione

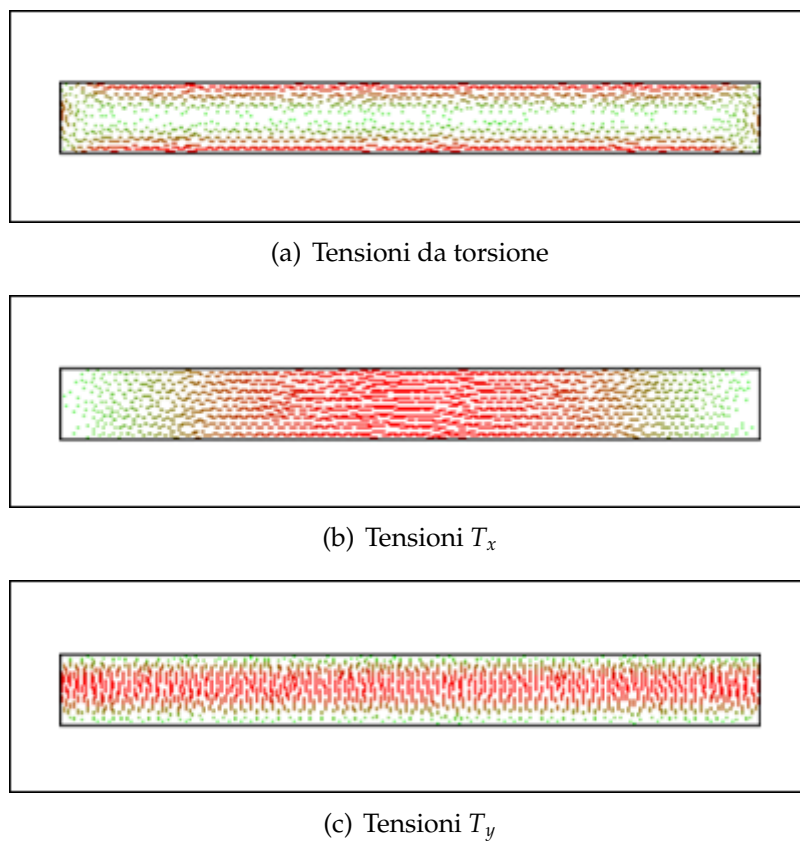
(b) Tensioni T_x

(c) Tensioni T_y

Figura 14.7 – Stati tensionali della sezione rettangolare allungata con discretizzazione fitta

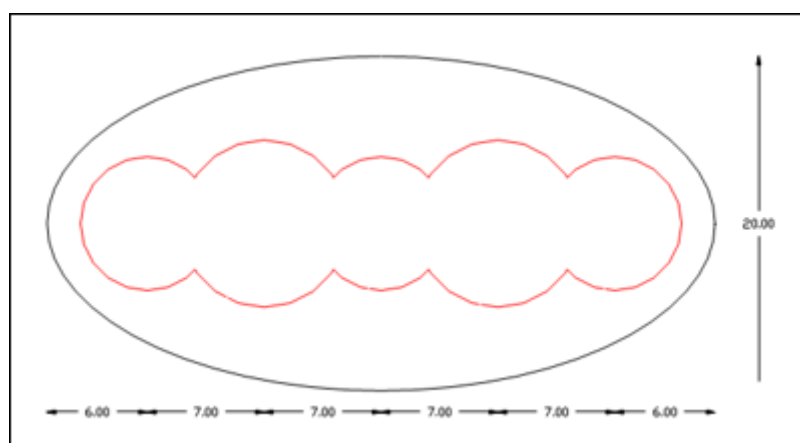



Figura 14.8 – Geometria e dimensioni della sezione ellittica

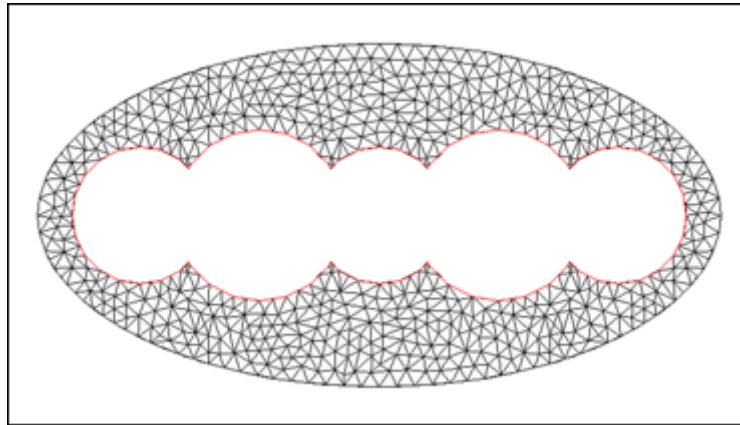
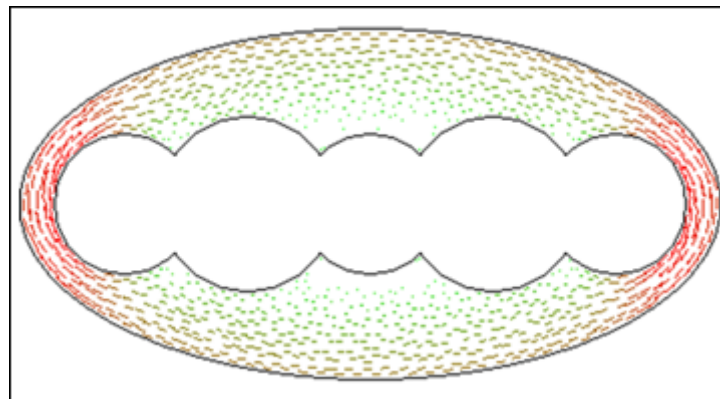
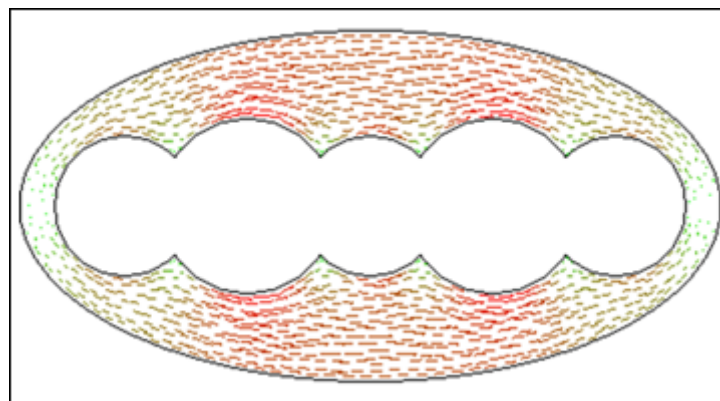
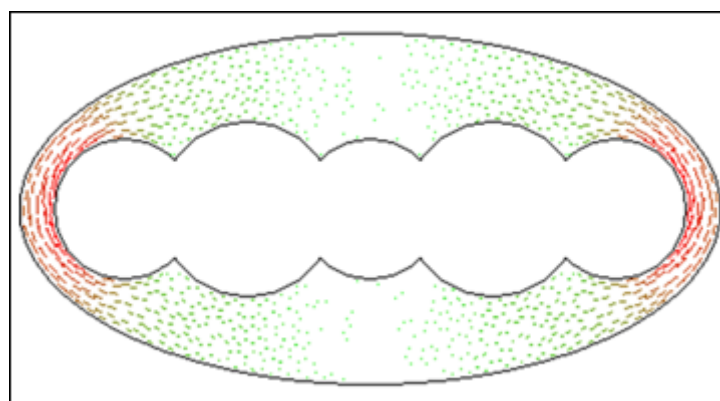



Figura 14.9 – Mesh a 2475 nodi con 1119 triangoli

(a) Tensioni da torsione

(b) Tensioni T_x

(c) Tensioni T_y

Figura 14.10 – Stati tensionali della sezione ellittica a connessione doppia

Parte II

Guida ai Comandi

15

Introduzione

L'inizio è la parte più importante di un lavoro.

PLATONE

Indice

IperSpace MAX® è un software di calcolo strutturale innovativo e molto performante.

Questo manuale è stato scritto con l'intento di dare un'immediata comprensione dei vari comandi messi a disposizione dal software **IperSpace MAX®** in modo da rendere l'utente operativo già dai primi minuti di utilizzo del programma. I menu [1] di **IperSpace MAX®** sono organizzati secondo una logica che consente all'utente di individuare in maniera immediata le voci di proprio interesse.

15.1 Requisiti minimi di sistema

Per installare ed eseguire correttamente **IperSpace MAX®** si consiglia di utilizzare un sistema che abbia le seguenti caratteristiche prestazionali minime:

TABELLA 15.1 – Requisiti minimi di sistema

Caratteristica	Requisito minimo
Tipo Processore	Intel/AMD 32/64 bits
Frequenza Processore	2.0 GHz
Memoria RAM	1 GB (2 GB per Vista e 7)
Spazio libero su disco	5 GB
Chipset Scheda Grafica	**NVidia®** o **ATI™** con accelerazione OpenGL 1.5 o superiore
Risoluzione Grafica Consigliata	Schermi con rapporto 4:3 1280x1024 pixels - Schermi con rapporto 16:9 1440x900 pixels
Sistema Operativo	**Windows®** 2000, XP 32/64 bits, Vista 32/64 bits, 7 32/64 bits, **Mac OS X®** 10.6 e superiori, Linux
Dispositivo di stampa	Tutte le stampanti e plotter supportati dal sistema operativo

[1] Le voci dei menu sono organizzati in contenitori ribbon

15.2 Installazione

Figura 15.1 – Dialogo di benvenuto

1. Cliccare su Avanti > per proseguire.

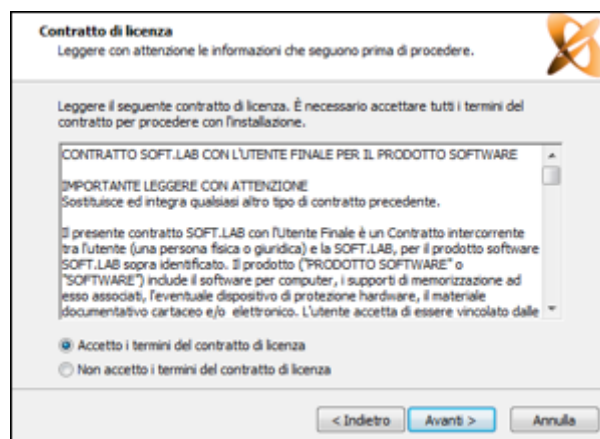



Figura 15.2 – Contratto di licenza

2. Leggere il contratto, accettare i termini e cliccare su Avanti > per proseguire.

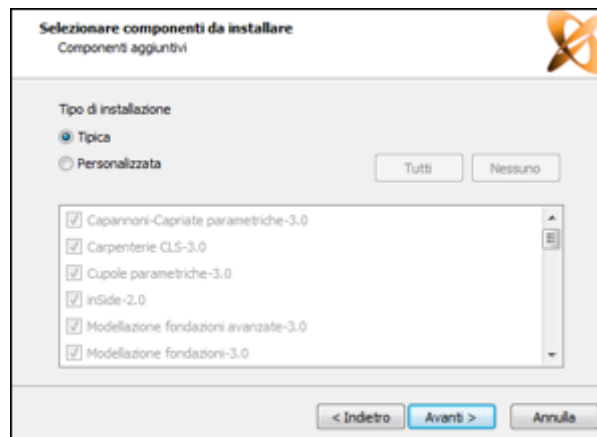



Figura 15.3 – Scelta dei componenti

3. Scegliere la versione da installare tra *tipica*, quella predefinita, e *personalizzata*. Cliccare su Avanti > per proseguire.

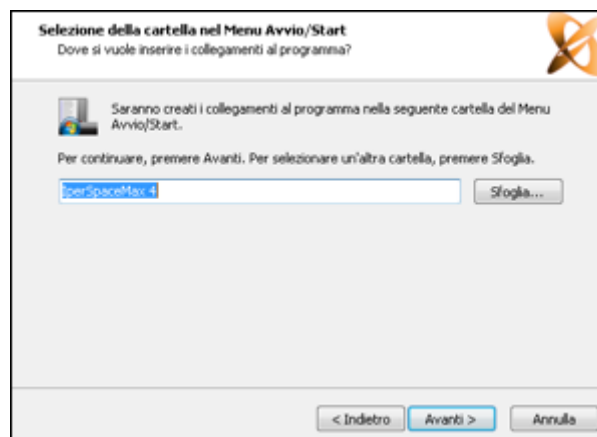



Figura 15.4 – Selezione della cartella nel menu Avvio/Start

4. Cliccare su Avanti > per proseguire.

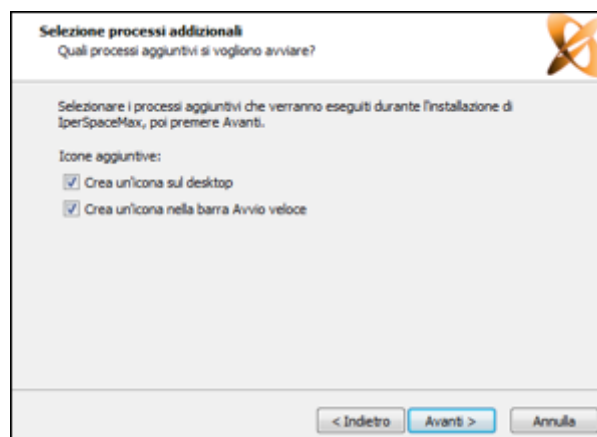



Figura 15.5 – Selezione processi addizionali

5. Cliccare su Avanti > per proseguire.

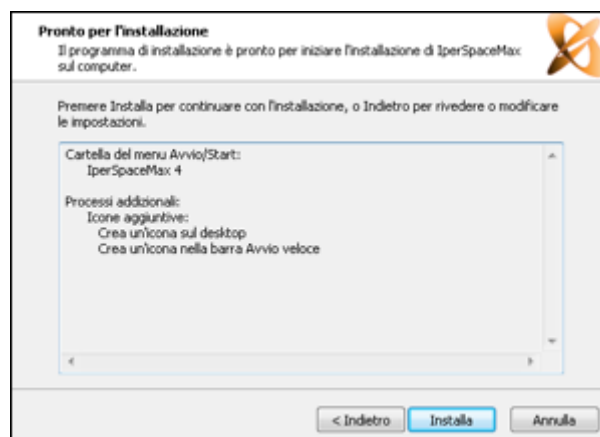



Figura 15.6 – Pronto per l'installazione

6. Cliccare su Installa per proseguire.

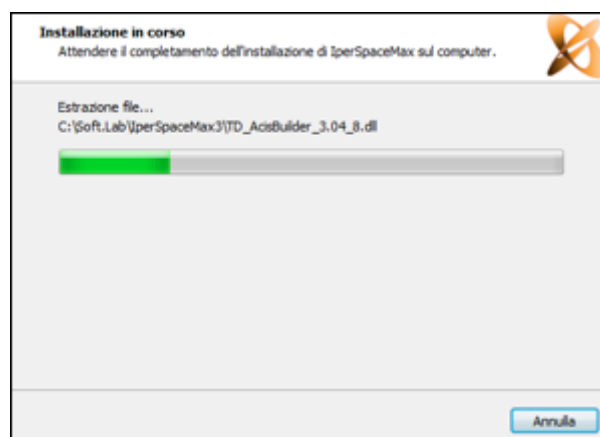



Figura 15.7 – Installazione in corso

7. Attendere la fine del processo di installazione preliminare.

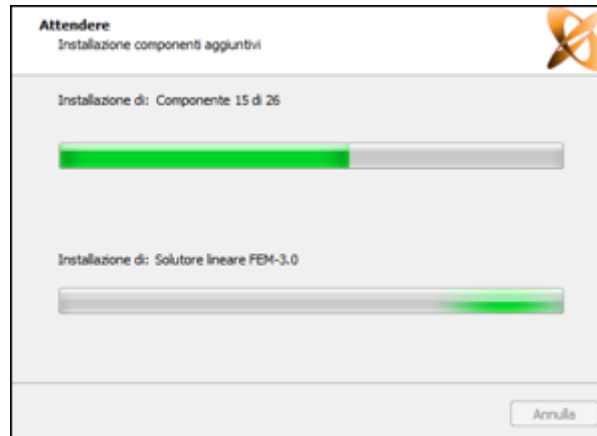



Figura 15.8 – Installazione dei componenti

8. Attendere la fine del processo di installazione dei componenti.

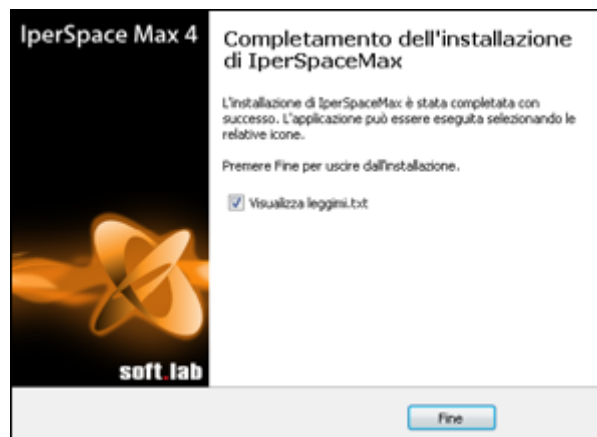



Figura 15.9 – Installazione completata

9. Cliccare su Fine per terminare.

15.3 Autorizzazione

Alla prima esecuzione del programma, cliccando sull'icona o equivalentemente, dal menu Start ▷ Programmi ▷ IperSpaceMax4, scegliendo la voce **IperSpaceMax4**, sarà richiesta l'autorizzazione della copia (come mostrato in figura 15.10 a fronte).

Sono disponibili tre modalità di autorizzazione:

Ottieni attivazione online: permette di autorizzare automaticamente i componenti di **IperSpace MAX**® collegandosi, attraverso la rete internet, ai server della Soft.Lab.

Figura 15.10 – Dialogo di autorizzazione

Importa file di attivazione: consente di eseguire l'autorizzazione attraverso l'importazione del file di licenza.

Attiva manualmente: nel caso in cui non sia possibile autorizzare il prodotto con i metodi precedenti inserire i codici di autorizzazione dei singoli componenti, stampati sul contratto di licenza cartaceo, fornito in allegato al supporto CD del prodotto.

15.4 Interfaccia utente di IperSpace Max

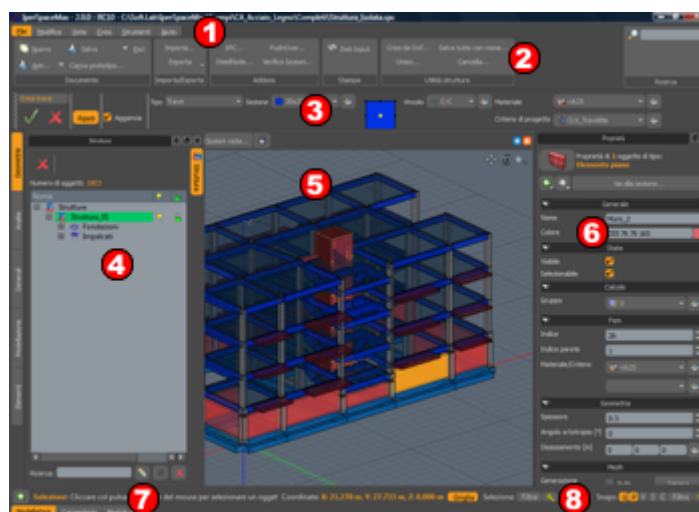



Figura 15.11 – Panoramica dell'interfaccia utente di **IperSpace MAX®**

L'interfaccia utente di **IperSpace MAX®** è costituito da un ambiente moderno e intuitivo. Come è possibile notare dalla figura 15.11 l'ambiente è suddivisibile in sezioni indipendenti e correlate allo stesso tempo. È possibile suddividerlo in:

1. Barra dei menu (*Menu bar*) 15.4.1
2. Barra dei ribbon (*Ribbon bar*) 15.4.2
3. Barra di controllo (*Control bar*) 15.4.3
4. Tavolozze (*Toolboxes*) 15.4.4
5. Vista grafica (*Graphic window*) 15.4.5
6. Gestore delle proprietà (*Property editor*) 15.4.6
7. Barra dello stato (*Status bar*) 15.4.7
8. Barra dei filtri (*Filters bar*) 15.4.8

In alcuni casi, potrebbe essere utile chiudere alcuni controlli di interfaccia, agendo sull'icona . Se ad esempio, si intende guadagnare spazio utile per la vista grafica durante la fase di modellazione, potrebbe giovare la chiusura del [Gestore delle proprietà], § 15.4.6 a pagina 173.

Per ripristinare i controlli disabilitati, e dunque non più visibili, cliccare con il tasto destro del mouse in una parte di interfaccia esterna alla finestra grafica e agire sui check del menu contestuale di figura 15.12.

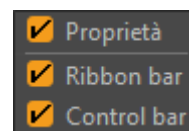



Figura 15.12 – Menu controlli

15.4.1 Barra dei menu

La barra dei menu consente di identificare in maniera immediata il gruppo di comandi ricercato dall'utente. Ad esempio, per operazioni di apertura files, importazione, ecc. si identificherà il gruppo di comandi della voce *Files*.

15.4.2 Barra dei ribbon

Ad ogni voce della barra dei menu corrispondono gruppi di comandi suddivisi in blocchi (*Ribbon*[2]).

15.4.3 Barra di controllo

La barra di controllo presenta, in maniera contestuale al comando che si sta eseguendo o alla selezione di particolari oggetti, controlli dinamici che consentono di interagire con gli elementi coinvolti.

Con risoluzioni video basse potrebbe capitare che alcuni ribbon, e parti della barra di controllo, posti all'estrema destra siano parzialmente coperti. In questo caso è possibile raggiungerli facendo scorrere tutta la barra, interessata, mantenendo premuto il tasto sinistro del mouse e trascinandola verso sinistra.

15.4.4 Tavolozze

Raccoglie i gestori dei vari database dei molteplici elementi costituenti sia l'ambiente di **IperSpace MAX**® che gli stessi modelli strutturali. Tra questi compare l'indispensabile navigatore degli elementi, costituito da

[2]Il ribbon è un elemento dell'interfaccia utente che presenta comandi, strumenti e opzioni raggruppati in base all'attività anziché attraverso menu tradizionali, barre degli strumenti e riquadri attività.

una struttura ad albero (*Tree View*), che organizza gerarchicamente gli elementi che costituiscono la struttura corrente. Risulta molto agevole per selezionare oggetti multipli ed eterogenei o per modificare delle proprietà comuni in maniera rapida.

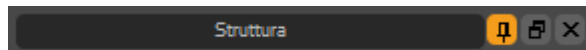



Figura 15.13 – Intestazione tavolozza

Il contenitore delle tavolozze presenta, nella parte superiore, dei controlli che consentono di gestire alcuni comportamenti dello stesso. Si notano, come indicato in figura 15.13, la barra del titolo del sottogruppo corrente e le tre icone , e .

La prima, attiva per default, permette di controllare la chiusura automatica della tavolozza all'allontanamento del puntatore del mouse. Questo comportamento consente di ottimizzare lo spazio disponibile per la finestra grafica evitando, al contempo, l'intervento dell'utente nelle operazioni di chiusura. Disattivando l'icona, la tavolozza corrente, rimarrà visibile anche se il puntatore del mouse si allontana da essa. Inoltre, nel caso venisse spostata dalla sua posizione originale manterrebbe la nuova. Quest'ultimo comportamento potrebbe risultare utile nel caso in cui, ad esempio, si ha la necessità di affiancare una tavolozza al Gestore delle proprietà.

La seconda, permette di rendere la tavolozza libera (*floating*) o fissa (*docking*). Nel primo caso essa appare sovrapposta alla finestra grafica, nel secondo invece, si integra con l'interfaccia.

Stesso comportamento può essere replicato con un doppio click del tasto sinistro del mouse sulla barra del titolo del sottogruppo.

L'ultima icona permette la chiusura della tavolozza corrente.

Per approfondire tutti gli aspetti legati agli elementi gestiti nelle Tavolozze si veda il capitolo 22 a pagina 309.

15.4.4.1 Geometrie

Struttura

Rappresenta il navigatore degli elementi della struttura. Consente una gestione gerarchica degli oggetti grafici, non solo strutturali. Molto utile nella selezione di oggetti multipli. Vedi [Struttura], § 22.2.1 a pagina 314.

15.4.4.2 Analisi

Calcoli

Permette la gestione degli oggetti *Calcoli* di **IperSpace MAX**®. Da qui è possibile creare un nuovo calcolo, modificarlo, cancellarlo. Vedi [Calcoli], § 22.3.1 a pagina 323.

Gruppi

Gestione dei gruppi di elementi utili per impostazioni per il calcolo e la stampa delle armature. Vedi [Gruppi], § 22.3.2 a pagina 338.

Condizioni di carico

Comprende le condizioni di carico intese come raccoglitori di carichi, sugli elementi, raggruppati per natura comune. Vedi [Condizioni di carico], § 22.3.3 a pagina 340.

Scenari di calcolo

Gestisce le combinazioni di carico delle varie condizioni. Gli scenari sono organizzati in tabelle in cui righe e colonne sono costituite rispettivamente dalle condizioni e dalle combinazioni di carico. Queste ultime rappresentano combinazioni lineari delle condizioni i cui pesi sono determinati da coefficienti moltiplicatori. Vedi [Scenari di calcolo], § 22.3.4 a pagina 342.

Spettri

Permette la gestione degli spettri secondo le varie normative. Vedi [Spettri], § 22.3.5 a pagina 344.

15.4.4.3 Generali

Sezioni armate

Permette la gestione delle sezioni armate per le armature esistenti. Vedi [Sezioni armate], § 22.4.1 a pagina 357.

Criteri di verifica

Gestisce i criteri di verifica degli elementi strutturali indispensabili per le verifiche degli stessi. Vedi [Criteri di verifica], § 22.4.2 a pagina 358.

Materiali

Permette di creare nuovi materiali o di cancellare quelli esistenti. Vedi [Materiali], § 22.4.3 a pagina 366.

Sezioni

Raggruppa le sezioni parametriche in base alla tipologia. Vedi [Sezioni], § 22.4.4 a pagina 367.

Terreni

Gestisce le stratigrafie dei terreni. Vedi [Terreni], § 22.4.5 a pagina 370.

 Vincoli aste

Raccoglie i tipi di vincoli interni per le aste. Vedi [Vincoli aste], § 22.4.6 a pagina 372.

15.4.4.4 Modellazione

 Domini

Supporta domini bidimensionali per particolari operazioni di modellazione. Tali tipi di elementi, ad esempio, sono adoperati per le aperture nelle murature. Vedi [Domini], § 22.5.1 a pagina 373.

 Griglie

Permette la gestione di griglie personalizzate. Vedi [Griglie], § 22.5.2 a pagina 373.

 Immagini

Gestione delle immagini catturate dalla vista grafica e quelle per le relazioni tecniche. Vedi [Immagini], § 22.5.3 a pagina 373.

 Piani di lavoro

Gestisce eventuali UCS[3] personalizzati dall'utente. Vedi [Piani di lavoro], § 22.5.4 a pagina 373.

15.4.4.5 Elementi

 Isolatori

Elenco di libreria per gli isolatori sismici. Vedi [Isolatori], § 22.6.1 a pagina 374.

 Plinti

Elenco di libreria per i plinti di fondazione. Vedi [Plinti], § 22.6.2 a pagina 374.

 Solai

[3]User Coordinate System

Elenco di libreria per le tipologie di solai. Vedi [Solai], § 22.6.3 a pagina 374.

 Classi di resistenza legno

Elenco di libreria per le tipologie di classi di resistenza per elementi in legno strutturale e lamellare. Vedi [Classi di resistenza legno], § 22.6.4 a pagina 374.

Per portarsi velocemente nella *Tavolozza* di interesse è utile consultare l'elenco mostrato dal comando [Visualizza], § 18.3.1 a pagina 259.

15.4.5 Vista grafica

Rappresenta il vero e proprio ambiente grafico di **IperSpace MAX**® che permette l'interazione diretta tra utente e struttura attraverso una rappresentazione grafica degli oggetti strutturali. È organizzata per viste:

Parallela permette una rappresentazione isometrica della struttura (prospettiva con fuoco all'infinito).

Alto consente la visualizzazione della struttura dall'alto. Questo punto di vista risulta molto utile nel caso si vogliano inserire elementi in pianta come oggetti bidimensionali (platee) e oggetti monodimensionali (pilastri) su pianta dxf.

Fronte, Sinistra sono analoghe alla vista Alto ma consentono di operare sui lati della struttura. Tali viste risultano utili nel caso si debbano effettuare delle selezioni particolari.

Prospettica consente una rappresentazione con proiezione in prospettiva (con fuoco centrale) per una vista più realistica della struttura.

Figura 15.14 – Viste disponibili

La configurazione predefinita delle viste può essere modificata dall'utente agendo sui tasti + e ✖, posti sulla destra della barra delle finestre.

Agendo sul primo si aprirà il menu contestuale di figura 15.14 che permette l'aggiunta di una vista tra quelle disponibili; il secondo, al contrario, elimina la vista corrente.

In questa versione, e solo nella vista prospettica, alcuni comandi veloci da tastiera non hanno effetto come è possibile riscontrare dalla tabella 15.7 a pagina 182.

15.4.5.1 Comandi del mouse nella vista

Nella tabella 15.2 è riportato il funzionamento del mouse nella finestra grafica; nella tabella 15.3 sono riportate, invece, le combinazioni mouse/tastiera.

Tabella 15.2 – Comandi del mouse

Tasto	Descrizione	Viste	Metodo
Sinistro	Selezione con finestra	Tutte	Muovere[a] il mouse tenendo premuto il tasto sinistro
Centrale	Pan della vista	Tutte	Muovere il mouse tenendo premuto il tasto centrale
Rotellina	Zoom dinamico	Parallela, Alto, Fronte, Sinistra	Scorrere la rotellina centrale in un senso o nell'altro per agire sul fattore di ingrandimento
Destro	Rotazione della vista	Parallela, Prospettica	Muovere il mouse tenendo premuto il tasto destro

[a]se la finestra è aperta da sinistra a destra, la selezione sarà inclusiva nel senso che selezionerà solo gli elementi interamente racchiusi dalla finestra; al contrario se la finestra è aperta da destra a sinistra la selezione sarà intersecante, cioè selezionerà tutti gli elementi contenuti nella finestra e in più quelli intersecati dalla sua frontiera

Tabella 15.3 – Combinazioni tastiera e mouse

Combinazione	Descrizione	Viste	Metodo
Ctrl Sinistro	Selezione multipla	Tutte	Tenere premuto il tasto Ctrl e cliccare[a] con il tasto sinistro sugli oggetti da selezionare
Ctrl Destro	Zoom dinamico	Tutte	Muovere il mouse tenendo premuto il tasto Ctrl e il tasto destro
Alt + Shift ⇑ Sinistro	Selezione con finestra su affollamento di oggetti	Tutte	Muovere il mouse tenendo premuto il tasto Alt + Shift ⇑ e il tasto sinistro

[a]trascinare per selezionare più oggetti attraverso una finestra

15.4.5.2 Icone della vista

Nella tabella 15.4 sono riportate le icone presenti nelle viste grafiche e relativi significati.

TABELLA 15.4 – Icone della vista grafica

Icona	Descrizione	Metodo
	Zoom limiti	Cliccare con il tasto sinistro del mouse. La vista dell'intera struttura viene ridimensionata in modo da riempire l'area utile.
	Zoom selezione	Cliccare con il tasto sinistro del mouse. La vista dell'insieme degli oggetti selezionati viene ridimensionata in modo da riempire l'area utile.
	Zoom finestra	Muovere il mouse fino al punto di interesse. Cliccare il tasto sinistro del mouse e mantenendolo premuto spostarsi per includere l'area interessata. Rilasciare il tasto del mouse per definire il vertice opposto dell'area rettangolare.
	Pan	Portarsi con il mouse sull'icona. Cliccare il tasto sinistro del mouse e mantenendolo premuto muoversi, nella direzione voluta, per spostare il punto di vista.
	Ruota	Portarsi con il mouse sull'icona. Cliccare il tasto sinistro del mouse e mantenendolo premuto muoversi per ruotare il punto di vista.
	Zoom	Portarsi con il mouse sull'icona. Cliccare il tasto sinistro del mouse e mantenendolo premuto muoversi per variare il fattore di ingrandimento/riduzione.

15.4.5.3 Opzioni della vista

IperSpace MAX® introduce un sistema molto avanzato per gestire la visualizzazione all'interno delle viste grafiche, che consente di personalizzare l'ambiente, a seconda delle necessità, permettendo anche di miscelare i diversi stati.

Questa caratteristica innovativa è concepita con un sistema di strati grafici (*graphic layers*) che, conservando una completa astrazione dal sistema rappresentato, consentono una perfetta interazione con il resto dell'interfaccia.

Accanto ai pulsanti per il cambio delle viste compaiono i controlli per gestire i layer grafici. Cliccando sul primo bottone si accede al dialogo mostrato in figura 15.15(b).

(a) Opzioni della vista

(b) Layers della vista

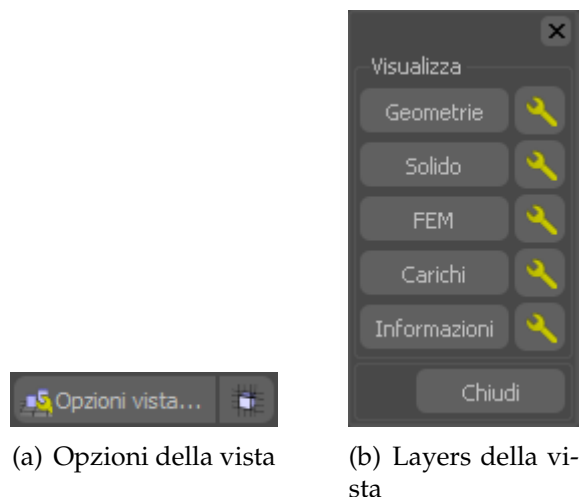



Figura 15.15 – Parametri del muro

Questo consente di discriminare gli oggetti e le informazioni che si intendono visualizzare nelle viste di **IperSpace MAX**®.

Queste impostazioni valgono per tutte le viste.

Geometrie visualizza/nasconde le categorie di oggetti geometrici.

Solido attiva/disattiva la modalità solida di tutti gli elementi.

FEM attiva/disattiva la modalità fem di tutti gli elementi.

Carichi visualizza/nasconde i carichi sulla struttura.

Informazioni visualizza/nasconde le informazioni sugli elementi della struttura.

Come si evince dalla figura 15.15(b), per ogni layer della vista sono disponibili diverse impostazioni accessibili attraverso l'icona .

15.4.5.3.1 Geometrie

Per il layer *Geometrie* sono elencati, in modo dinamico, tutti gli elementi presenti, come mostrato dalla figura 15.16 nella pagina successiva.

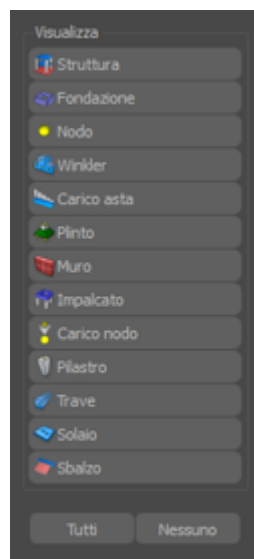



Figura 15.16 – Opzioni della vista *Geometrie*

Il numero e l'elenco degli oggetti potrebbe essere diverso di quello mostrato in figura 15.16 in quanto il sistema mostra solo quelli effettivamente presenti nell'ambiente.

Cliccando sul bottone Tutti si visualizzeranno tutti gli elementi in elenco; cliccando su Nessuno si nasconderanno tutti gli elementi.

15.4.5.3.2 Solido

In figura 15.17(a) nella pagina successiva sono riportate le opzioni per questo layer. È possibile passare dallo stile a linee (fig. 15.17(b)) a quello ombreggiato (fig. 15.17(c)). In quest'ultimo caso si può attivare o meno, attraverso l'apposito controllo, la trasparenza degli oggetti (fig. 15.17(d)).

15.4.5.3.3 FEM

La figura 15.18 a pagina 171 mostra le opzioni relative alla vista *FEM*. Nello specifico è possibile modificare lo spessore delle linee che rappresentano gli elementi strutturali.

15.4.5.3.4 Carichi

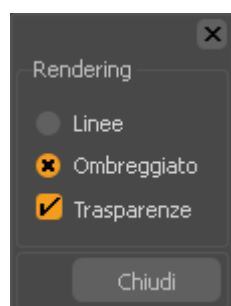
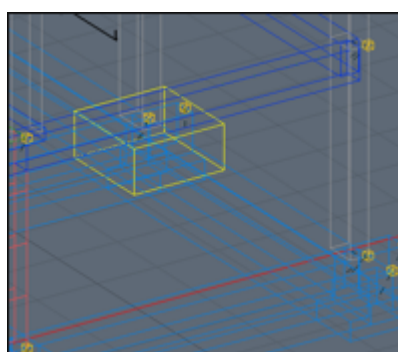
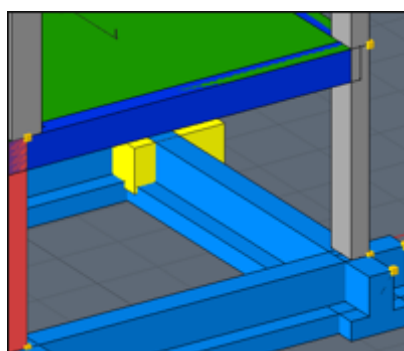
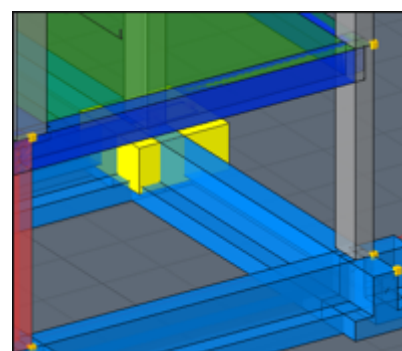
Per il layer *Carichi* sono elencate tutte le condizioni di carico presenti, come mostrato dalla figura 15.19(a) a pagina 171. Nella figura 15.19(b) a pagina 171, invece, sono riportate le impostazioni relative alle scale per il disegno dei carichi.

(a) Opzioni della vista *Solido*

(b) Vista a linee

(c) Vista ombreggiata

(d) Vista ombreggiata con trasparenza

Figura 15.17 – Visualizzazione solida e opzioni

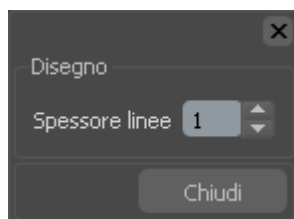



Figura 15.18 – Opzioni della vista *FEM*

(a) Condizioni di carico

(b) Impostazioni

Figura 15.19 – Opzioni di visualizzazione per i *Carichi*

15.4.5.3.5 Informazioni

Il layer *Informazioni* permette di visualizzare/nascondere delle grandezze di tipo informativo, come gli indici di numerazione degli elementi, le loro etichette descrittive, i vincoli interni delle aste, ecc. (vedi figura 15.20(a) nella pagina successiva).

Allo stato attuale sono disponibili, per la visualizzazione, le seguenti proprietà:

Vincoli aste: vincolo interno per gli elementi di tipo asta (travi, pilastri);

Indice: numero interno, univoco, per il calcolo legato all'elemento strutturale;

Materiale: etichetta relativa al materiale dell'oggetto;

Nome: etichetta descrittiva dell'elemento;

Indice pannelli: numero associato ai nodi interni degli elementi shell;

Sezione: etichetta identificativa per la sezione degli elementi di tipo asta.

Nelle figure 15.20(b) e 15.20(c), sono riportate le impostazioni relative alle informazioni come la grandezza e i colori del testo delle scritte mostrate.

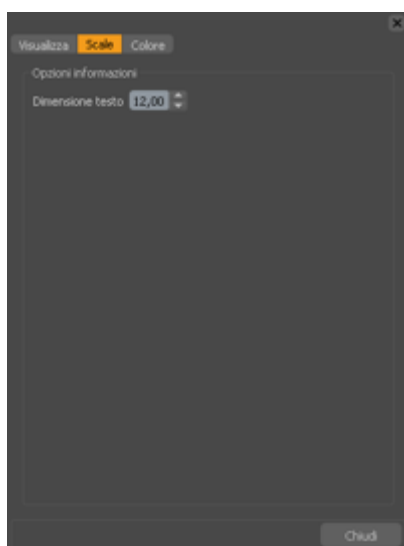
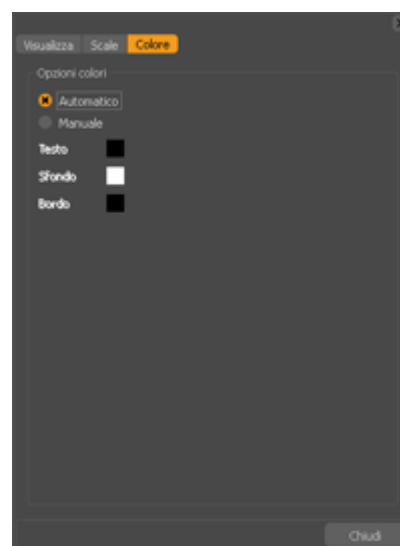
(a) Selezione degli oggetti e proprietà

(b) Scala del testo

(c) Impostazione del colore

Figura 15.20 – Opzioni di visualizzazione per le *Informazioni*

15.4.5.4 Box di taglio

Sulla barra della finestra grafica è presente il pulsante che permette di attivare o disattivare il box di taglio corrente. Per le impostazioni del box fare riferimento alla sezione [Box di taglio], § 18.4 a pagina 259.

15.4.5.5 Navigazione impalcati

Per spostarsi agevolmente sugli impalcati di lavoro è possibile usufruire del menu a discesa mostrato in figura 15.21 o dei tasti e . Selezionando l'impalcato voluto il sistema di riferimento globale si sposterà sulla quota corrispondente permettendo di operare sul nuovo piano di lavoro. La modifica del sistema di riferimento è evidente dallo spostamento della griglia di lavoro. Agendo sul tasto si attiva o meno il box di taglio che seguirà di volta in volta il cambiamento di impalcato corrente. Per coerenza l'attivazione di tale controllo rende attivo anche quello relativo al [Box di taglio], § 15.4.5.4.

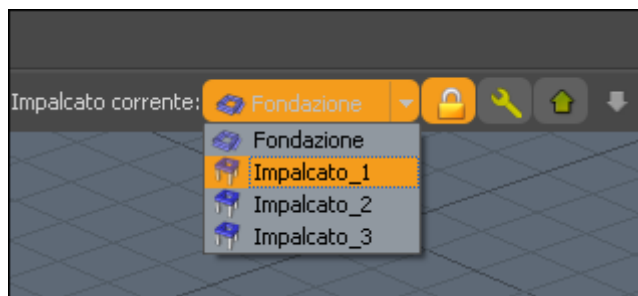



Figura 15.21 – Navigazione e box sugli impalcati geometrici

Il pulsante permette di modificare le dimensioni verticali del box di taglio, potendo specificare una dimensione di ingombro superiore e una corrispondente inferiore.

Le operazioni su esposte sono possibili solo in presenza di [Impalcati geometrici], § 22.2.1.6 a pagina 320. Nel caso non fossero presenti fare riferimento alla procedura di [Generazione], § 22.2.1.6.2 a pagina 321.

15.4.6 Gestore delle proprietà

È costituito da un dialogo, organizzato in sezioni collassabili, che contiene tutte le proprietà degli oggetti selezionati. Nel caso di oggetti rappresentabili nell'ambiente grafico, questi possono essere selezionati

indifferentemente sia dalla [Vista grafica], § 15.4.5 a pagina 165 che dal navigatore delle [Geometrie], § 15.4.4.1 a pagina 162. Quest'ultimo è molto utile nella selezione di elementi parametrici come cupole, capriate, ecc. in quanto selezionando il nodo *padre* di una struttura di questo tipo, nel gestore di proprietà, si avranno a disposizione i soli parametri del macro oggetto e non quelli relativi ai suoi singoli elementi. Al contrario, con una selezione effettuata nell'ambiente grafico, ad esempio con la selezione con finestra (vedi [Comandi del mouse nella vista], § 15.4.5.1 a pagina 166), il gestore delle proprietà mostrerebbe i parametri degli oggetti costituenti la struttura parametrica.

Nel caso di selezione di oggetti eterogenei (nodi, travi, pilastri, ecc.), il gestore delle proprietà mostrerebbe i soli parametri comuni. Qualora un parametro comune (ad esempio Gruppo) assumesse valori diversi, entro la selezione, la sua etichetta sarebbe evidenziata con colore rosso per indicare l'esistenza di un conflitto nei valori del parametro stesso.

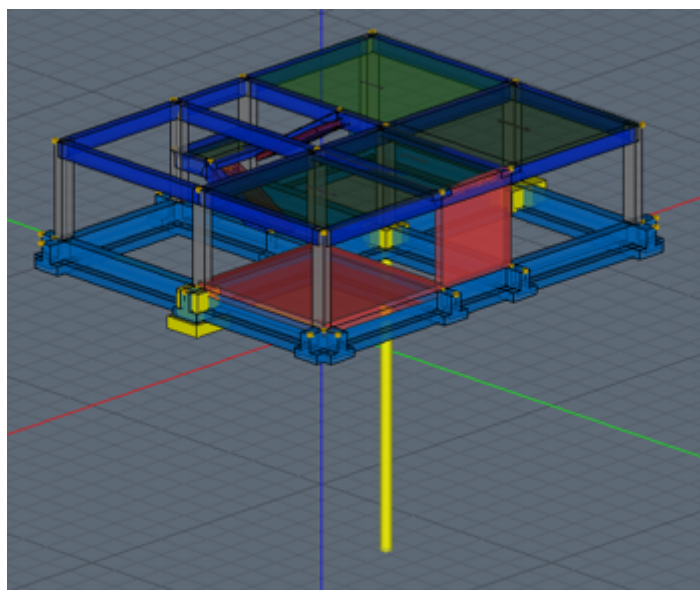



Figura 15.22 – Esempio di oggetti eterogenei

In figura 15.22 sono rappresentati degli elementi eterogenei (nodi, travi, pilastri, plinti, muri, ecc.). Selezionando [Tutti], § 17.4.1 a pagina 238 gli elementi come mostrato in figura 15.23:

il gestore delle proprietà mostrerebbe tutti i parametri comuni agli oggetti, come mostrato in figura 15.24 a pagina 176.

In figura 15.24 si notano i parametri *Nome*, *Colore*, *Gruppo* e *Indice* evidenziati in rosso.

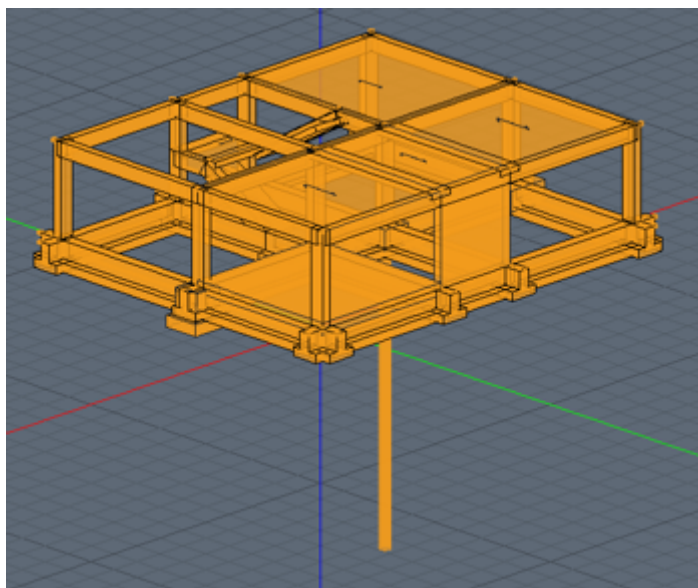



Figura 15.23 – Esempio di selezione di tutti gli oggetti presenti

Ciò sta ad indicare che sebbene i parametri suddetti siano comuni a tutti gli oggetti assumono comunque valori diversi. In questo caso si parla di *conflitto* di valori.

Il valore mostrato indica sempre quello relativo all'ultimo elemento della selezione. Inoltre, in generale, sebbene un parametro appaia in conflitto è sempre possibile modificarne il valore.

Agendo sull'icona si ha la possibilità di visualizzare le proprietà degli oggetti di un particolare tipo. Nell'esempio di figura 15.25(a) a pagina 177, scegliendo il tipo *Plinto* compariranno tutte le proprietà dei plinti selezionati, come riportato in figura 15.25(b).

In questo modo è molto semplice discriminare i vari elementi e apportare le modifiche del caso.

Il gestore delle proprietà possiede un'altra caratteristica molto interessante che è quella di essere stato concepito come un *browser* e dunque, come tale, supporta anche la navigabilità dei dialoghi dei suoi contenuti. A testimonianza di tale proprietà nella zona superiore del gestore sono ubicati i bottoni e che consentono di spostarsi nei vari dialoghi temporali.

Per comprendere al meglio il concetto si immagini di trovarsi nelle condizioni di figura 15.25(b) a pagina 177. Come si potrà notare la proprietà *Materiale* dei plinti selezionati assume il valore *rck25* che sta ad indicare un certo tipo di calcestruzzo.

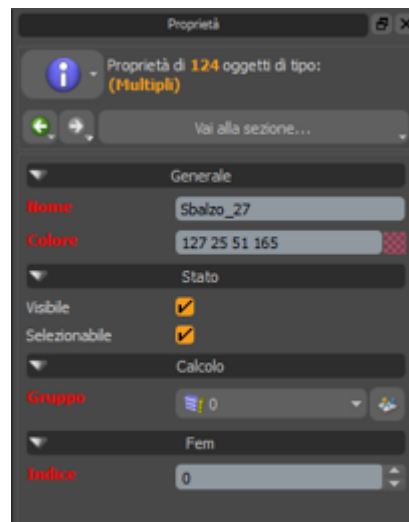



Figura 15.24 – Parametri comuni a tutti gli oggetti selezionati

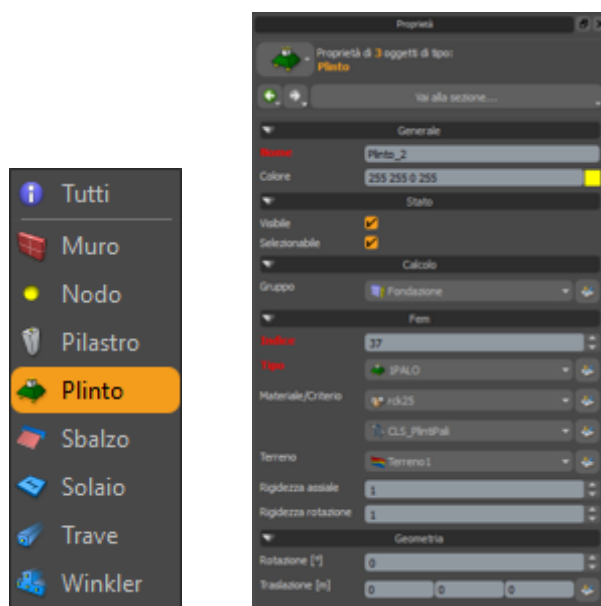
Volendo conoscere le proprietà specifiche di tale materiale, accanto al suo valore, compare il bottone . Cliccando su questo **IperSpace MAX®** si porta automaticamente nella libreria *Materiali* della tavolozza [Generali], § 15.4.4.3 a pagina 163 come mostrato dalla figura 15.26(a) a pagina 178 e il gestore delle proprietà propone dinamicamente quelle, questa volta, del materiale e non degli oggetti, come si evince anche dalla figura 15.26(b) a pagina 178.

A questo punto l'utente potrebbe modificare una delle proprietà del materiale corrente e tornare attraverso il bottone alle proprietà visualizzate in precedenza.

*In generale, **IperSpace MAX®** permette di creare, modificare e cancellare oggetti di libreria in maniera dinamica anche durante l'esecuzione di altri comandi senza dover necessariamente uscire dall'azione corrente per doverla invocare nuovamente.*

Mantenendo premuto il tasto sinistro del mouse sui due bottoni di navigazione, si aprirà un elenco, da cui è possibile portarsi direttamente su un dialogo specifico precedente.

Il gestore delle proprietà rappresenta uno strumento critico nell'utilizzo di **IperSpace MAX®** poiché permette un controllo totale sugli oggetti selezionati, siano essi elementi strutturali, oggetti relativi al calcolo, librerie, ecc.

Per alcuni oggetti il numero di proprietà, fornite all'utente, potrebbe risultare molto esteso. Per tale ragione le proprietà sono ordinate in sezioni che permettono di portarsi immediatamente su quelle di proprio interesse.

(a) Scelta tipo elemento nella selezione

(b) Proprietà dei plinti selezionati

Figura 15.25 – Proprietà degli oggetti selezionati di un particolare tipo

Ogni sezione, inoltre, è collassabile cliccando con il mouse sulla propria intestazione, in modo da poter essere chiusa qualora contenga proprietà che, al momento, siano ritenute superflue.

Nel caso di sezioni molto numerose, sulla parte superiore del gestore, è presente il pulsante Vai alla sezione... che permette il salto diretto a quella voluta.

15.4.7 Barra dello stato

Indica, attraverso dei messaggi, lo stato corrente di **IperSpace MAX**® o suggerimenti che riguardano il comando in esecuzione. Inoltre visualizza:

- la storia delle operazioni
- le tre coordinate, rispetto al sistema di riferimento globale, del puntatore grafico
- lo stato della griglia
- lo stato di avanzamento, attraverso una barra di progressione, di una procedura in esecuzione

15.4.8 Barra dei filtri

Sullo stesso livello della status bar, all'estremità destra della finestra principale, è situata la barra dei filtri di selezione e degli snaps.

(a) Libreria dei materiali

(b) Proprietà del materiale rck25

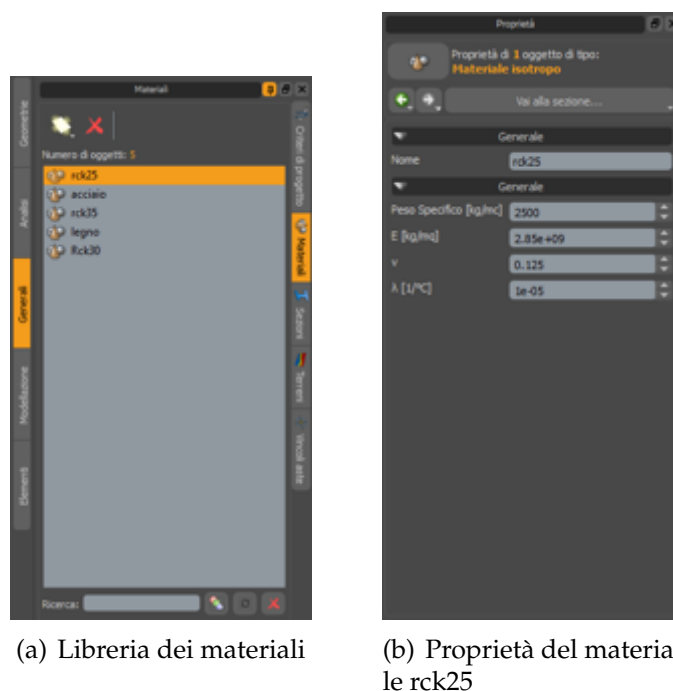



Figura 15.26 – Navigazione nel gestore delle proprietà

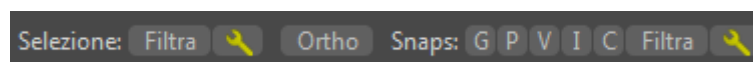



Figura 15.27 – Barra dei filtri

Tale barra contiene dei controlli molto utili e allo stesso tempo molto potenti grazie ai quali è possibile:

1. Discriminare gli oggetti nella selezione
2. Agganciarsi ad entità specifiche nella modellazione

15.4.8.1 Selezione

Relativamente alla selezione, il tasto Filtra attiva/disattiva un filtro di selezione le cui impostazioni sono scelte attraverso il tasto che premuto attiva il dialogo riportato nella figura 15.28:

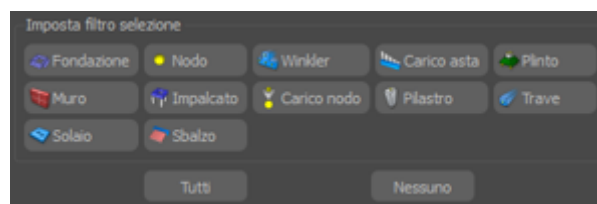



Figura 15.28 – Impostazione dei filtri di selezione

Anche in questo caso il numero e il tipo di oggetti mostrati dal dialogo in figura 15.28 si aggiorna dinamicamente in base agli oggetti presenti nella struttura corrente.

15.4.8.2 Ortho

Attivando il pulsante Ortho è possibile vincolare il puntatore di creazione elementi nelle due direzioni principali ortogonali sul piano di input. Questa impostazione risulta molto utile quando vi è la necessità di creare, velocemente, elementi che debbano rispettare una certa ortogonalità come travi e shell verticali.

15.4.8.3 Snaps

IperSpace MAX® possiede un sistema di snaps molto potente che consente, a differenza di altri programmi, una modellazione realmente libera nello spazio tridimensionale senza l'ausilio di griglie, linee di supporto ed altri tediosi sistemi di approccio. Gli snaps disponibili possono essere suddivisi in:

- Snap elementari
- Snap avanzati

I primi sono contraddistinti da icone recanti lettere alfabetiche come riportato nella tabella 15.5:

Tabella 15.5 – Snaps elementari

Snap	Descrizione	Commenti
G	Snap alla griglia	Aggancia il puntatore ai vertici dei quadranti della griglia. Risulta utile nel disegnare oggetti ancorati ad un piano come la base dei pilastri o una platea di fondazione.
P	Snap al punto	Aggancia il puntatore ai punti notevoli. Permette di intercettare i punti caratteristici degli elementi grafici ed agganciarsi a questi rispetto ad essi.
V	Snap vicino	Aggancia il puntatore al punto più vicino degli oggetti.
I	Snap all'intersezione	Aggancia il puntatore all'intersezione di due segmenti. Utile per intercettare punti caratteristici all'interno di piante di supporto (dxf, dwg, ecc.)
C	Snap al centroide	Aggancia il puntatore nel punto medio di una linea o al centro di un'entità geometrica. Utile per agganciarsi in punti non direttamente disponibili all'interno di piante di supporto (dxf, dwg, ecc.)

Relativamente agli snaps avanzati, il tasto Filtra attiva/disattiva un filtro di snaps la cui impostazione viene effettuata attraverso il tasto che attiva il dialogo riportato nella figura 15.29:

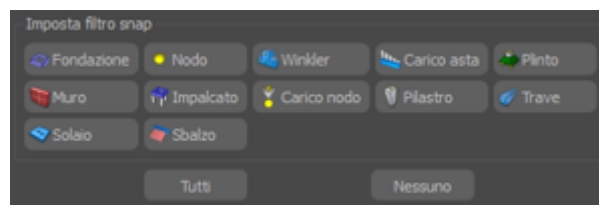



Figura 15.29 – Impostazione dei filtri di snaps

Dal dialogo è possibile attivare qualsiasi combinazione di snap cliccando sulle rispettive categorie di elementi presenti.

Anche in questo caso ***IperSpace MAX®*** *mostra dinamicamente le categorie dei soli oggetti presenti.*

L'uso degli snaps avanzati risulta molto utile quando, durante la fase di modellazione, si desidera un aggancio preciso rispetto ad una o più categorie di oggetti. In alcuni casi, ad esempio, è desiderabile uno snap rigoroso all'oggetto nodo. Attivare dunque il tasto Nodo e rendere effettiva l'impostazione attivando il tasto Filtra.

15.5 Scorciatoie da tastiera

IperSpace MAX® consente di agevolare il lavoro proponendo una serie di tasti e combinazioni di tasti (*shortcuts*) che velocizzano alcune operazioni.

15.5.1 Scorciatoie generiche

Sono indipendenti dal contesto e dunque sono richiamabili da qualsiasi ambiente di **IperSpace MAX®**.

Tabella 15.6 – Scorciatoie generiche

Combinazione	Descrizione	Commenti
Ctrl + n	Nuovo	Predispone **IperSpace MAX®** per la creazione di un nuovo progetto (vedi [Nuovo], § 16.1.1 a pagina 184)
Ctrl + o	Apri	Apre una file di progetto esistente (vedi [Apri], § 16.1.2 a pagina 185)
Ctrl + a	Seleziona Tutto	Seleziona tutti gli elementi del contesto corrente
Ctrl + s	Salva	Salva il progetto corrente (vedi [Salva], § 16.1.3 a pagina 185)
Ctrl + y	Ripeti	Ripristina l'ultima operazione annullata (vedi [Ripeti], § 17.1.2 a pagina 237)
Ctrl + z	Annulla	Annulla l'ultima operazione (vedi [Annulla], § 17.1.1 a pagina 236)

15.5.2 Scorciatoie grafiche

Valgono soltanto nell'ambiente grafico di **IperSpace MAX®** (vedi [Vista grafica], § 15.4.5 a pagina 165).

Tabella 15.7 – Scorciatoie grafiche

Tasto	Descrizione	Viste	Metodo
(barra spaziatrice)	Ripristina vista	Tutte	Premere il tasto (barra spaziatrice)
a	Zoom limiti	Parallela, Alto, Fronte, Sinistra	Premere il tasto a
s	Zoom selezione	Parallela, Alto, Fronte, Sinistra	Premere il tasto s
w	Zoom finestra	Parallela, Alto, Fronte, Sinistra	Premere il tasto w, muovere il mouse tenendo premuto il tasto sinistro
z	Zoom dinamico	Parallela, Alto, Fronte, Sinistra	Premere il tasto z, muovere il mouse tenendo premuto il tasto sinistro per regolare il fattore di zoom

*Le scorciatoie di tastiera **Barra Spazio**, **a** e **s** hanno effetto anche sul punto di rotazione della vista grafica infatti lo ripristinano rispettivamente con l'origine, con il baricentro della struttura corrente e con il baricentro della selezione corrente.*

15.6 Acceleratori

Gli acceleratori, a differenza degli shortcuts che sono più generici, consentono di richiamare in modo rapido le sole voci di menu.
Si invocano tenendo premuti, in sequenza, una serie di tasti. Solitamente la sequenza è iniziata dal tasto Alt .

16 Menu File

Indice

Il menu *File* consente la gestione dei progetti, di effettuare operazioni di importazione ed esportazione secondo formati diversi da quelli nativi e di eseguire procedure esterne ad **IperSpace MAX**® ma, in alcuni casi, comunque interagenti con esso.

In questo capitolo, e in quelli a seguire, sono esplicati i comandi di ***IperSpace MAX***®*. Per completezza, per ogni comando, si riporta, oltre all'icona rappresentativa, anche il percorso relativo alle voci di menu per eseguirlo e, ove sia previsto, il corrispondente acceleratore da tastiera.*

16.1 Documento

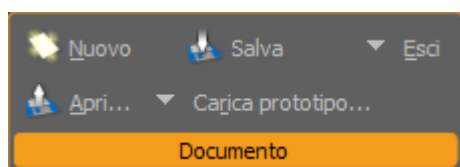
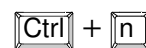



Figura 16.1 – Menu File - Documento

Il ribbon *Documento* contiene i comandi di apertura e salvataggio dei file strutturali e quelli relativi al caricamento dei prototipi.

16.1.1 Nuovo

File ▷ Nuovo

Il comando predispone **IperSpace MAX**® per un nuovo lavoro. Nel caso in cui sia presente una struttura corrente viene visualizzato il messaggio di figura 16.2 nella pagina successiva

che consente eventualmente il salvataggio del lavoro, dunque viene proposto il dialogo di figura 16.3 a fronte che permette di scegliere la tipologia di progetto caricando automaticamente un file di prototipo adeguato. Vedi [Carica prototipo], § 16.1.5 a pagina 186.

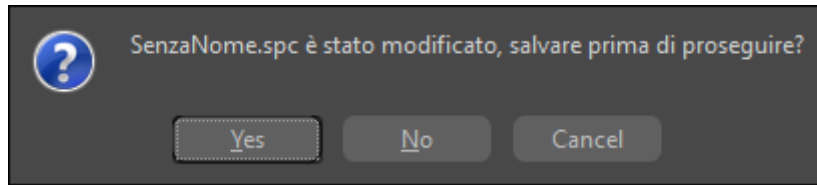
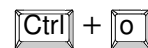



Figura 16.2 – Nuova struttura - Richiesta di conferma

Figura 16.3 – Nuova struttura - Scelta del tipo di progetto

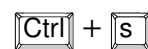
16.1.2 Apri

 File ▷ Apri

Apre una struttura esistente. Il comando consente anche l'apertura di strutture disegnate con versioni precedenti di **IperSpace**®.

Se non si è ancora salvato il lavoro corrente ricordarsi di farlo in quanto il comando elimina la struttura corrente o elementi presenti.

IperSpace MAX® memorizza fino a 5 strutture aperte di recente. Dunque agendo sulla freccia in basso (▼) accanto al comando è possibile scegliere, dal menu contestuale apposito, quella desiderata.

16.1.3 Salva

 File ▷ Salva Ctrl + s

Il comando salva su disco la struttura corrente permettendo in seguito un suo recupero per operazioni di modifica e/o calcolo.

Se, per la struttura corrente, non è stato mai effettuato un salvataggio viene richiesto un nome da associare al lavoro. Per default viene assegnato il nome *SenzaNome.spc*, ma naturalmente è possibile modificarlo secondo le proprie esigenze e eventualmente modificarne anche il percorso.

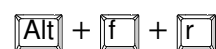
È buona norma utilizzare, per il nome dei file, stringhe che non siano troppo lunghe e, preferibilmente, che non contengano spazi (sarebbe più indicato "_"al posto di " ") per evitare problemi con gli ambienti di calcolo.

16.1.4 Salva con nome

File ▷ Salva con nome

Agendo sulla freccia in basso (▼) del comando [Salva], § 16.1.3 nella pagina precedente è possibile specificare un percorso e/o nome diverso alla struttura corrente.

16.1.5 Carica prototipo

File ▷ Carica prototipo

Permette di aprire una file di modello (*prototipo*) contenente delle impostazioni predefinite (unità di misura, archivi delle sezioni, materiali, ecc.). Il prototipo è a tutti gli effetti un file di **IperSpace MAX**® (presenta infatti stessa estensione *.spc*) sprovvisto però di geometria. Dunque il caricamento di un prototipo nell'ambiente di **IperSpace MAX**® eliminerebbe la struttura corrente se presente.

*Per default i file di prototipo di **IperSpace MAX**® sono raggiungibili attraverso il percorso* `C:\Soft.Lab\IperSpaceMax4\iperspacert\Proto`.

16.1.6 Esci

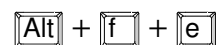
File ▷ Esci Alt + f + e

Termina il programma. Viene visualizzato un messaggio del tipo:

Tabella 16.1 – Prototipi predefiniti di **IperSpace MAX®**

File	Destinazione
`Proto_CA.spc`	Prototipo predefinito per il disegno, calcolo e verifica di strutture in calcestruzzo armato.
`Proto_CA_Acciaio_Legno.spc`	Prototipo per disegno, calcolo e verifica di strutture in acciaio e/o legno.
`Proto_CA_Esistenti.spc`	Prototipo valido per costruzioni esistenti in c.a. e/o in acciaio che prevede quanto indicato dalle NT 2008 e dalla *Circolare 617* del 2009.
`Proto_CA_Neve.spc`	Prototipo per disegno, calcolo e verifica di strutture in calcestruzzo con carico neve.
`Proto_CA_Neve_Termico.spc`	Prototipo coincidente con quello precedente, che tiene conto, in aggiunta, della presenza di carichi termici.
`Proto_CA_Zona4_TA.spc`	Prototipo per edifici in zona 4 per la verifica alle tensioni ammissibili (DM 96), valido solo per le costruzioni di tipo 1 e 2 e Classe d'uso I e II.
`Proto_CA_Zona4_SL.spc`	Prototipo per edifici in zona 4 per la verifica agli stati limiti (NTC 2008), considerando un'accelerazione sismica costante per qualunque periodo (ag/g=0,07); valido per tutti i tipi di costruzione e classi d'uso.

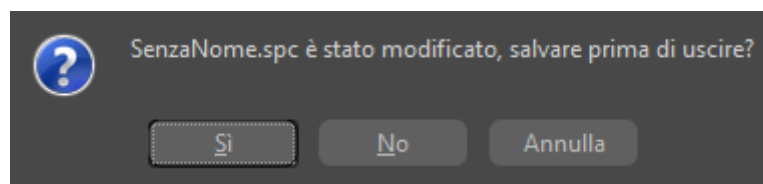



Figura 16.4 – Esci - Richiesta di conferma

che consente il salvataggio del lavoro prima dell'uscita.

16.2 Importa/Esporta

Comandi di importazione ed esportazione.

16.2.1 Importa

I comandi di importazione permettono il caricamento di informazioni nell'ambiente di **IperSpace MAX®**, siano essi relativi a librerie di elementi

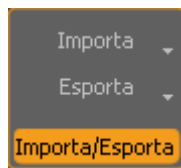



Figura 16.5 – Menu File - Importa/Esporta

piuttosto che a entità grafiche.

16.2.1.1 Elementi

File ▷ Importa ▷ Elementi

Consente l'importazione di oggetti di **IperSpace MAX®**, di tipo strutturale e non, da strutture preesistenti o da file di prototipo che contengano impostazioni che, ad esempio, non siano presenti nel progetto corrente.

La sua funzione è molto importante in quanto permette la condivisione di più informazioni tra progetti distinti e indipendenti.

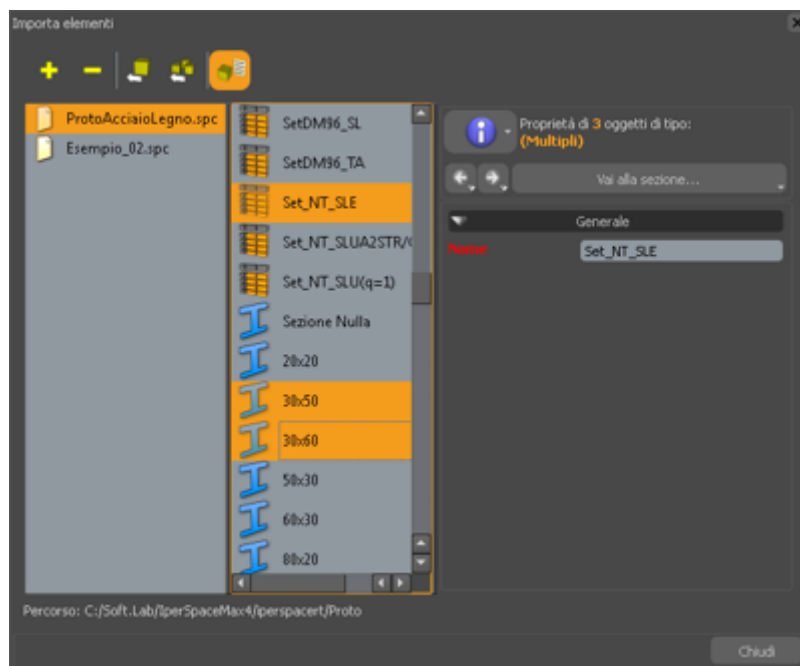



Figura 16.6 – Dialogo di importazione elementi

Dal dialogo di figura 16.6, attraverso il tasto è possibile selezionare i file come risorsa da cui importare gli elementi di libreria. È possibile aggiungere più file che vanno a costituire un *repositorio*. Il tasto consente l'eliminazione dei file selezionati dal repositorio corrente.

Una volta selezionati gli oggetti di libreria, è possibile visionarne tutte le proprietà, attivando il tasto , e mediante i tasti e si

potrà procedere all'importazione, dalle sorgenti, rispettivamente dei soli elementi selezionati o di tutti.

L'importazione degli elementi di libreria è possibile anche dalle tavolozze (vedi [Importazione da file di un oggetto], § 22.1.4 a pagina 312), in tal caso però è circoscritta ai soli elementi della tavolozza corrente. In altri termini, dalla tavolozza dei criteri di verifica, ad esempio, sarà possibile importare solo elementi di tipo "Criterio di verifica".

16.2.1.2 Geometrie

File ▷ Importa ▷ Geometrie

Il comando consente di importare, all'interno dell'ambiente di **IperSpace MAX®**, diverse tipologie di formati di files. Normalmente si tratta di files grafici che facilitano la modellazione di strutture complesse. In futuro non si esclude la possibilità di importare geometrie già pronte per il calcolo e il postprocessing.

In questa versione è possibile importare files di tipo **DXF®**, **DWG®**, **3DS®**[1] ed altri.

Una volta selezionato il file da importare, comparirà il dialogo di figura 16.7 che permette di impostare le unità di misura con le quali è stato disegnato il file grafico. Inoltre, attraverso il check apposito, è possibile allineare il box di ingombro all'origine del sistema di riferimento; questa opzione risulta utile quando il file originario è disegnato a distanza considerevole dall'origine.

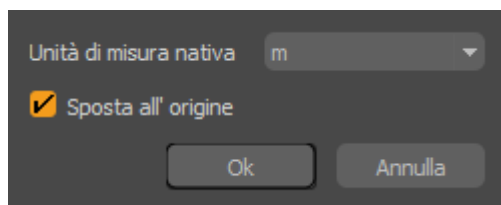



Figura 16.7 – Dialogo di importazione geometrie

16.2.2 Esporta

I comandi di esportazione consentono di salvare, dall'ambiente **IperSpace MAX®**, diverse rappresentazioni della geometria della struttura corrente.

16.2.2.1 DXF wire

[1] **3D Studio Max®**

Esporta una rappresentazione unifilare, in formato **DXF®**, della struttura corrente.

16.2.2.2 DXF 3D

File ▷ Esporta ▷ DXF 3D

Esporta una rappresentazione tridimensionale, in formato **DXF®**, della struttura corrente.

16.2.2.3 Auto_CA

File ▷ Esporta ▷ Auto_CA

Esporta la carpenteria della struttura corrente per lo standard **Auto_CA®**.

16.3 Stampa

Figura 16.8 – Menu File - Stampa

Comandi per la stampa dei dati e relative opzioni.

16.3.1 Dati Input

 File ▷ Dati Input

Il comando consente di stampare i dati di ingresso della struttura corrente ed eventualmente di impostare le opzioni corrispondenti.

16.4 Addons

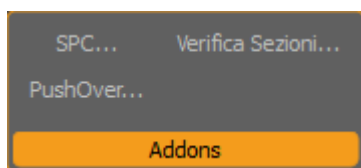



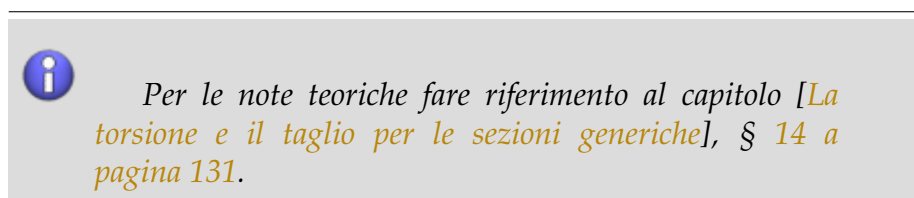
Figura 16.9 – Menu File - Addons

Il gruppo *Addons* raccoglie comandi relativi ad applicativi esterni ad **IperSpace MAX**® ma comunque interagenti con esso.

16.4.1 SPC

File ▷ SPC

Il comando esegue l'applicativo SPC (*Section Property Calculator*) che per una sezione generica, anche pluriconnessa, determina tutte le caratteristiche inerziali, Area, Momenti di Inerzia I_x, I_y, I_{xy}, e soprattutto i fattori relativi alla Torsione e Taglio, I_t e χ_x e χ_y.

Per le note teoriche fare riferimento al capitolo [La torsione e il taglio per le sezioni generiche], § 14 a pagina 131.

Il disegno della sezione avviene a mezzo di un CAD dedicato compreso nell'ambiente mostrato in figura 16.10.

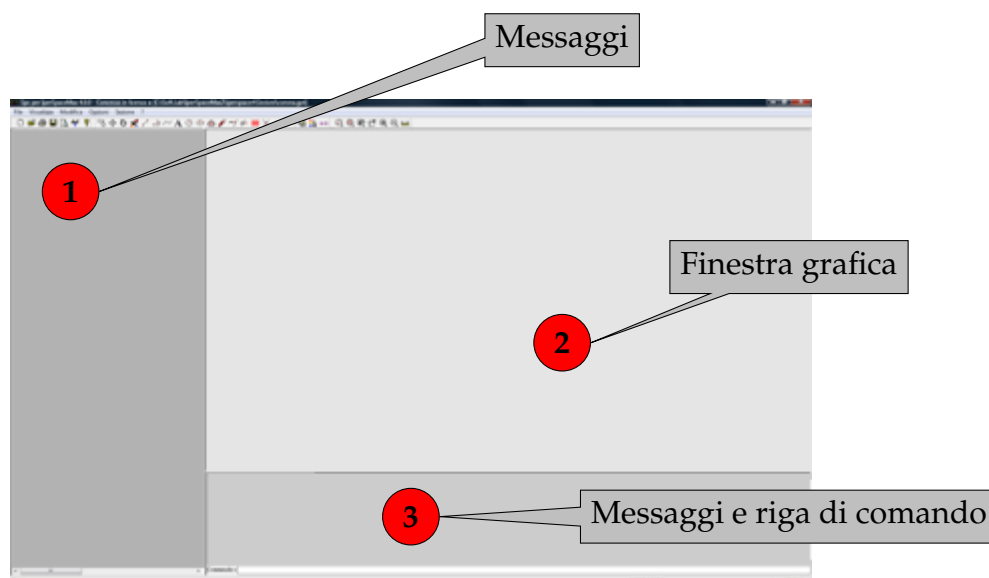



Figura 16.10 – SPC - Interfaccia grafica

16.4.1.1 Finestra di lavoro

Volendo disegnare una sezione in cemento armato, se le unità di misura sono espresse in cm, conviene definire una finestra di circa 120x120 cm che rappresenti lo spazio di lavoro. Dunque:

1. Nella zona (2), relativamente alla figura 16.10 nella pagina precedente, cliccare con il tasto destro del mouse per accedere al menu contestuale (vedi fig. 16.11(a) nella pagina successiva)
2. Scegliere la voce *Zoom finestra*
3. Inserire, attraverso la riga di comando nella zona (3) della figura 16.10, i valori -60,-60 per il *Primo punto*
4. Confermare sul tasto Enter
5. Inserire 60,60 per il *Secondo punto*, confermando sullo stesso tasto (vedi fig. 16.11(b) a fronte)

In questo modo è stata creata una finestra di lavoro corrispondente a 120 unità in direzione X e 120 unità in direzione Y.

Nel caso di sezioni in acciaio conviene che le unità siano espresse in mm e dunque i valori da scegliere per la finestra di lavoro devono essere maggiori.

Cliccando sulla icona è possibile impostare il valore dello snap attraverso il dialogo di figura 16.12 nella pagina successiva, dove se ne può definire l'ampiezza con un valore, in questo caso, di 5 o 10 cm.

Successivamente si può rendere visibile la griglia agendo sulla icona relativa .

16.4.1.2 Importazione di una sezione

Disponendo di una rappresentazione della sezione in formato **DXF**® è possibile importarla direttamente nell'ambiente *SPC* evitando di disegnarla.

Dal menu File ▷ Importa Dxf o dall'icona selezionare il file.

Una volta scelto impostare il valore della scala attraverso il dialogo di figura 16.13 a fronte.

(a) Menu della vista grafica

(b) Finestra per i valori numerici

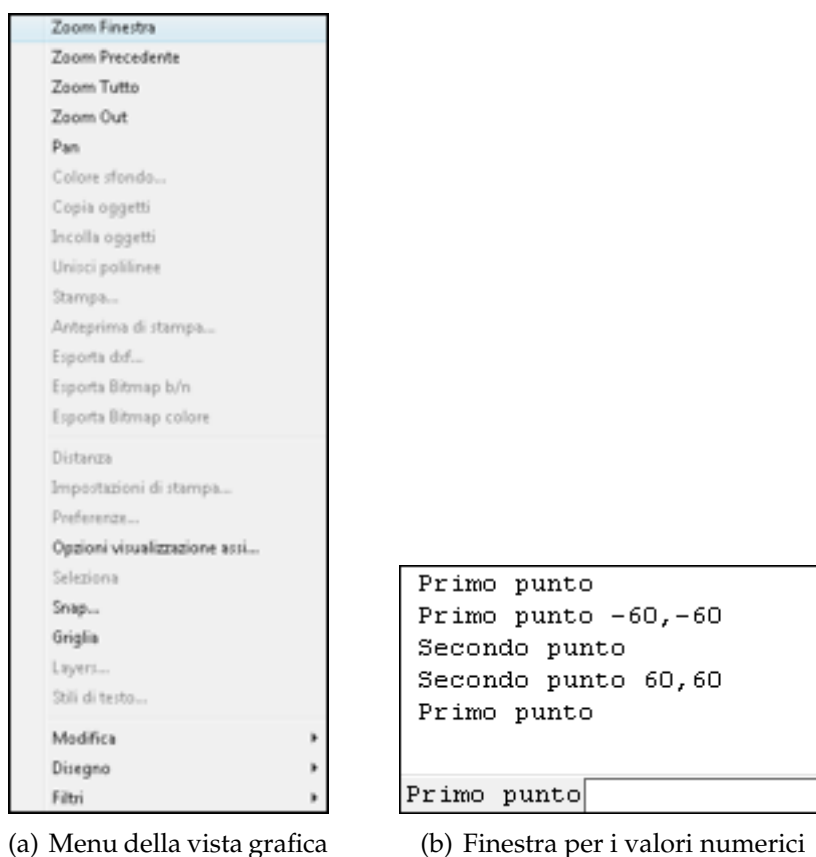



Figura 16.11 – Creazione dello spazio di lavoro

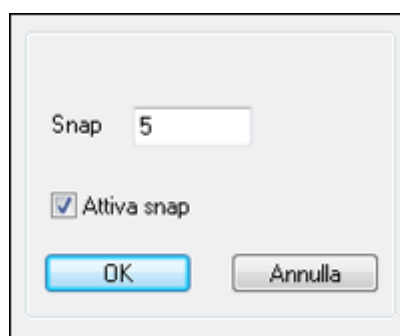



Figura 16.12 – Dialogo per l'impostazione dello snap

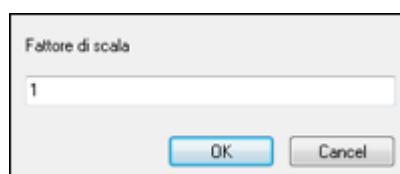



Figura 16.13 – Dialogo per il fattore di scala

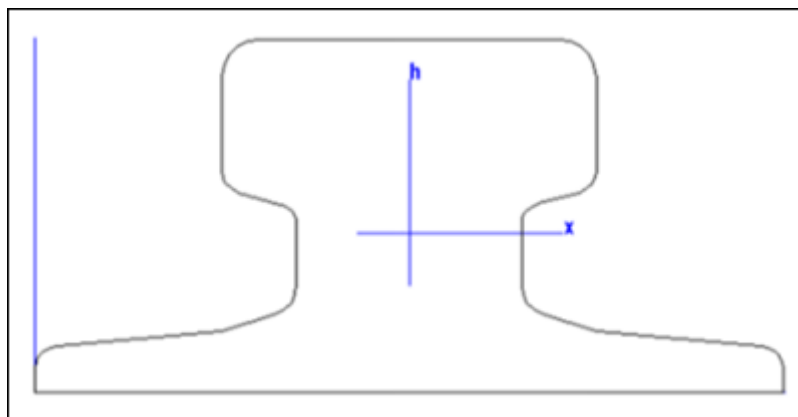



Figura 16.14 – Esempio di sezione **DXF®**

16.4.1.3 Disegno di una sezione

Per creare una sezione mediante le primitive di disegno è conveniente costruire prima il contorno esterno e successivamente gli eventuali contorni interni.

Per fare questo utilizzare il comando polilinea cliccando sulla voce Disegno ▷ Polilinea , dal menu contestuale della vista grafica, o direttamente sulla relativa icona .

Per agevolare il disegno conviene impostare lo snap su un valore coerente con le dimensioni della sezione, in modo che tutti i punti del contorno si trovino su un punto preciso della griglia.

Dunque, per definire i lati esterni della sezione, cliccare con il tasto sinistro del mouse su punti della griglia corrispondenti ai vertici della sezione da disegnare. In figura 16.16 nella pagina successiva è riportato un esempio di sezione simmetrica a "T" con un foro centrale.

Il disegno può essere eseguito anche senza la griglia fornendo direttamente le coordinate dei punti come riportato nella procedura nella sezione [Finestra di lavoro], § 16.4.1.1 a pagina 192.

Per chiudere un polilinea evitare di cliccare nuovamente sul nodo iniziale, ma utilizzare il tasto destro del mouse sulla voce *Chiudi* come mostrato in figura 16.15 nella pagina successiva.

Analogamente si possono inserire una o più polilinee interne per rappresentare dei fori. Nell'esempio di figura 16.17 a fronte è stato inserito un semplice rettangolo.

A questo punto, essendo terminata la costruzione geometrica della sezione, potrebbe essere utile salvarla su memoria di massa attraverso il comando File ▷ Salva con nome .

Per far comprendere al modulo che la sezione è cava occorre definire i contorni esterni ed interni.

Figura 16.15 – Voce di menu per chiudere la polilinea

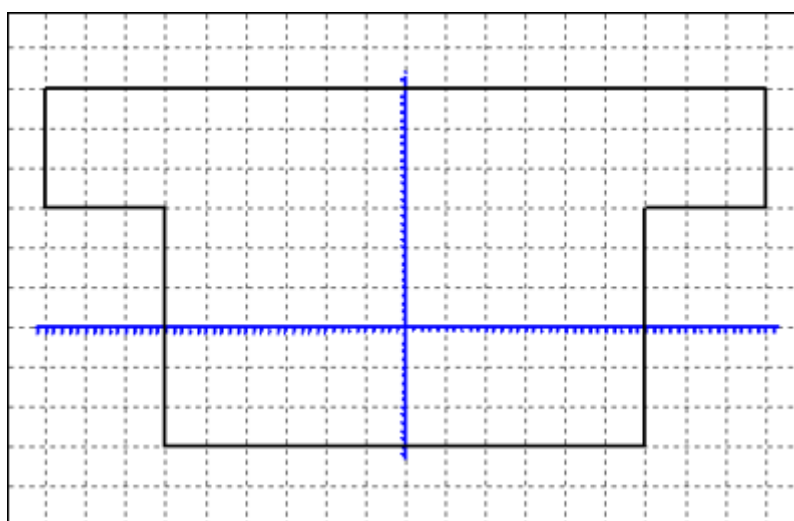



Figura 16.16 – Contorno esterno di una sezione di esempio

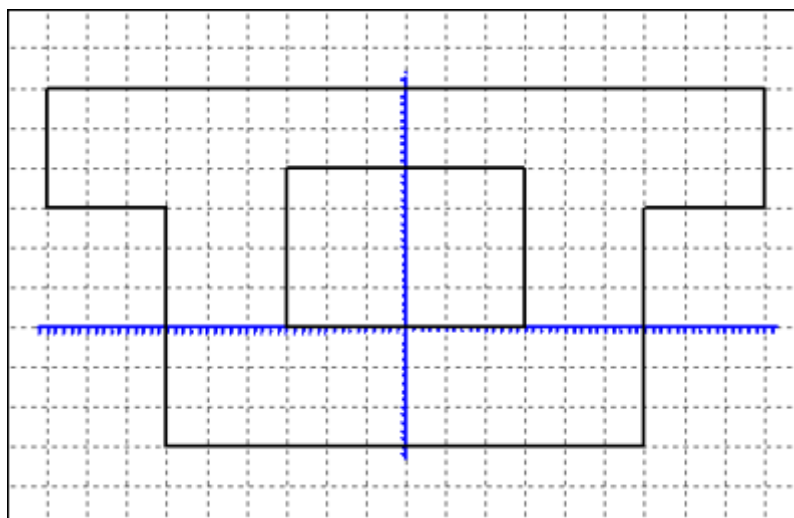



Figura 16.17 – Disegno del contorno interno

1. Cliccare sulla voce di menu Sezione ⊳ Selezione contorno esterno
2. Selezionare, con un click del tasto sinistro del mouse, il contorno esterno della sezione

   Se la selezione è corretta nella riga di comando (sotto la finestra di disegno) comparirà la richiesta obbligatoria di inserire il *coefficiente di Poisson*, ad esempio 0.1.

Il coefficiente di Poisson è richiesto per il taglio e non è necessario per la torsione.

3. Cliccare sulla voce di menu Sezione ⊳ Aggiungi contorni interni
4. Selezionare, con un click del mouse, uno o più contorni interni
5. Terminare la selezione selezionando la voce *Fine* del menu contestuale attivabile con il tasto destro del mouse

Le frontiere dei contorni interni si evidenzieranno in rosso e la configurazione finale della sezione sarà simile a quella rappresentata in figura 16.18.

La sezione potrà essere salvata con un nome avente estensione *.got*.

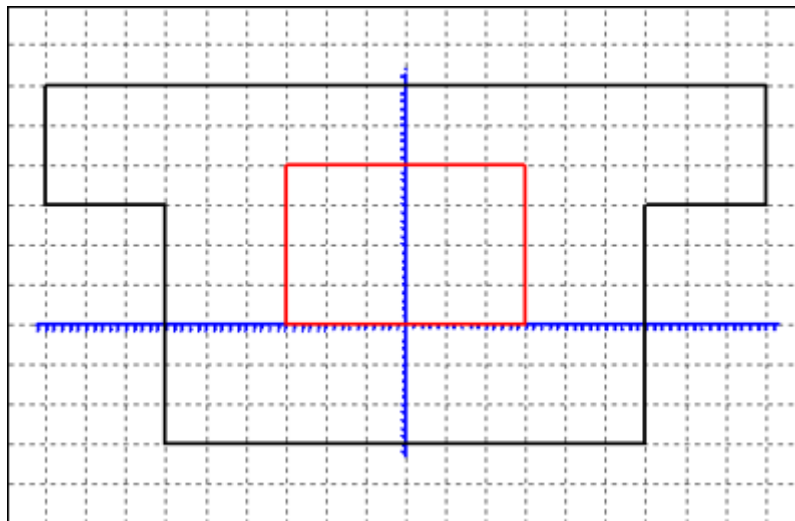



Figura 16.18 – Configurazione finale della sezione

16.4.1.4 Analisi della sezione

Per analizzare la sezione occorre discretizzarne il dominio. Quindi dal menu *Sezione* scegliere la voce Sezione ⊳ Crea Mesh . Comparirà il dialogo di figura 16.19 a fronte.

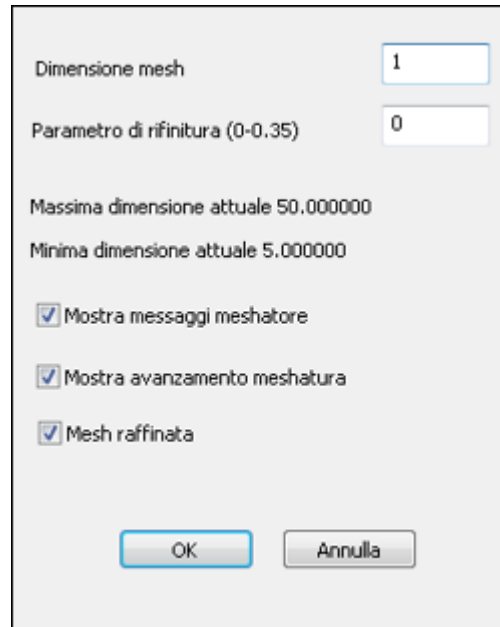



Figura 16.19 – Parametri per la generazione della mesh

La mesh è controllata essenzialmente dai primi 2 parametri: il primo, *Dimensione mesh*, serve semplicemente per spezzare i contorni in segmenti di lunghezza voluta; il secondo, *Parametro di rifinitura*, permette di infittire la discretizzazione per caratterizzare meglio delle zone irregolari. Normalmente l'infittimento è massimo per il valore del secondo parametro uguale a 0.35.

Una volta confermati i valori del dialogo, il dominio verrà discretizzato come mostrato in figura 16.20.

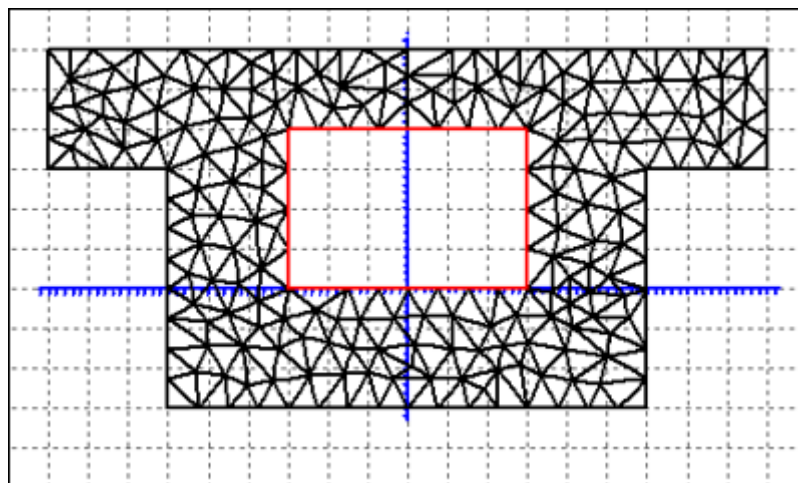



Figura 16.20 – Discretizzazione della sezione

La mesh può essere nascosta dalla visualizzazione invocando il comando Modifica ▷ Elimina mesh dal disegno e ripristinata nuovamente attraverso la voce Sezione ▷ Mostra Mesh .

Prima di eseguire l'elaborazione, attraverso il dialogo di figura 16.21 richiamabile dalla voce Opzioni ▷ Visualizzazione 2D , è possibile impostare delle tolleranze per evitare di stampare valori molto piccoli; ad esempio se un valore è inferiore ad 1/100 è possibile forzarlo uguale al valore nullo.

Asse X
Colore
Passo suddivisione 1
Dimensione segno divisione 0.1
Numero cifre decimali 1
Altezza testo 0.25
Uguale a Y

Asse Y
Colore
Passo suddivisione 1
Dimensione segno divisione 0.1
Numero cifre decimali 1
Altezza testo 0.25
Uguale a X

Mostra assi
Stampa il valore 0 per valori inferiori a: 0.01

OK Annulla

Figura 16.21 – Opzioni di visualizzazione

Per risolvere la sezione invocare la voce di menu Sezione ▷ Risolvi .

Nella zona (1), di figura 16.10 a pagina 191, relativa ai messaggi, compariranno una serie di informazioni.

Le prime sono di tipo statistico e riportano, oltre al numero di equazioni impiegate per la risoluzione, le caratteristiche della matrice del sistema di equazioni, il numero di vertici e di triangoli in cui è stato suddiviso il dominio.

Le seconde sono rappresentate dai risultati veri e propri in quanto sono costituite dalle proprietà inerziali della sezione e dai fattori relativi alla Torsione e al Taglio, I_t e χ_x e χ_y.

Nella stampa 16.1 è riportato un tipico esempio di risultato.

Stampa 16.1 – Risultati del calcolo per la sezione a T

```
Statistiche:
    # Equazioni          =1073
    Dim. Vettore matrice =48899
    Max Altezza Colonna  =107
    Altezza media        =44.572227
    # medio di 0 x tri.  =6.060241
    # nodi               =1074
    # triangoli          =498
tempo medio di soluzione  =0.06(s)

G=(0,9.64286)
C=(0,7.47929)
Proprietà della sezione
   A=3150
   Ixx=618348
```

```
    Iyy=2.07375e+006
    Ixy=0
     Wx=25368.1
     Wy=41475
   Wplx=39234.4
   Wply=70875
    I_xi=2.07375e+006
    I_eta=618348
    Alfa_x_xi=90°
   Wcsi=41475
   Weta=25368.1
   Wplcsi=70875
   Wpleta=39234.4
    Jt=1.32109e+006
    Ip=2.6921e+006
    F.tors. q=2.03779
        Bimom.=6.75207e+007
Fattori di taglio
    ChiX=1.4057
    ChiY=2.16294
    ChiXY=0
    1/ChiX=0.711389
    1/ChiY=0.462333
    1/Chixy=INF
Fattori di taglio relativi agli assi principali
    Chi_xi=2.16294
    Chi_eta=1.4057
    Chi_xi_eta=0
```

Dopo aver risolto la sezione è possibile visualizzare graficamente una serie di caratteristiche:

- Ingobbamento da torsione
- Ingobbamento da taglio (nelle due direzioni principali)
- Linee di flusso da torsione
- Linee di flusso da taglio (nelle due direzioni principali)

Dal menu *Sezione*, scegliere la voce Sezione ▷ Ingobbamento torsione . Si aprirà una finestra *popup* come quella di figura 16.22(a) nella pagina successiva.

Nella finestra è possibile accedere ad un menu contestuale, attivabile al solito con il tasto destro del mouse, che consente di ingrandire la vista, modificare i parametri della finestra, ed altro. In particolare se si attiva la voce Rendering ▷ Solido si ha una colorazione stile **MATLAB**®.

Nel caso dell'esempio basterà scegliere la voce *Zoom Tutto* per mostrare la sezione nel complesso.

L'immagine 16.22(a) nella pagina seguente rappresenta l'ingobbamento a torsione visto nel piano, per apprezzarlo nello spazio tridimensionale basta cliccare sulla voce *Parallela* del menu precedente contestuale.

(a) Ingobbamento da torsione sul piano

(b) Ingobbamento da torsione in vista parallela

(c) Ingobbamento da taglio $T_x = 1$ sul piano

(d) Ingobbamento da taglio $T_x = 1$ in vista parallela

Figura 16.22 – Ingobbamento da torsione e taglio per $T_x = 1$

Nelle figure 16.22(c) e 16.22(d) nella pagina precedente sono riportati gli andamenti per il taglio per $T_x = 1$.

Analogamente è possibile visualizzare altre grandezze come il campo vettoriale delle τ unitarie (a meno del fattore $q \cdot M_t/I_p$) come mostrato nelle figure 16.23.

(a) Linee di flusso da torsione

(b) Linee di flusso da taglio per $T_x = 1$

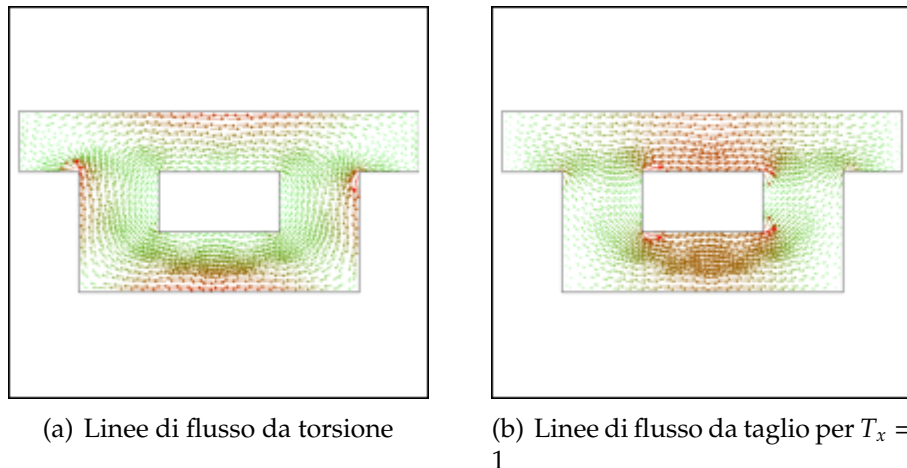



Figura 16.23 – Linee di flusso da torsione e taglio per $T_x = 1$

Le linee di flusso sono visibili solo in vista piana ed il rendering non ha effetto perché, al contrario della deformata per ingobbamento, non vi sono superfici da ombreggiare.

16.4.1.5 Sezioni complesse

Con il modulo SPC è possibile risolvere sezioni ben più complesse di quelle viste nei paragrafi precedenti. Si voglia, ad esempio, disegnare e calcolare le proprietà inerziali per la sezione rappresentata in figura 16.24 nella pagina successiva.

La sezione di esempio può essere disegnata attraverso i comandi a disposizione nel menu contestuale (attivabile con il tasto destro del mouse, nella vista grafica) o cliccando direttamente sulla icona delle primitive grafiche.

1. Definire la [Finestra di lavoro], § 16.4.1.1 a pagina 192

2. Per disegnare il contorno esterno:

   2.1 Cliccare sull'icona (ellisse)

   2.2 Fissare il centro dell'ellisse nell'origine degli assi con un click del mouse oppure inserendo da riga di comando i valori 0,0 e confermando su Enter

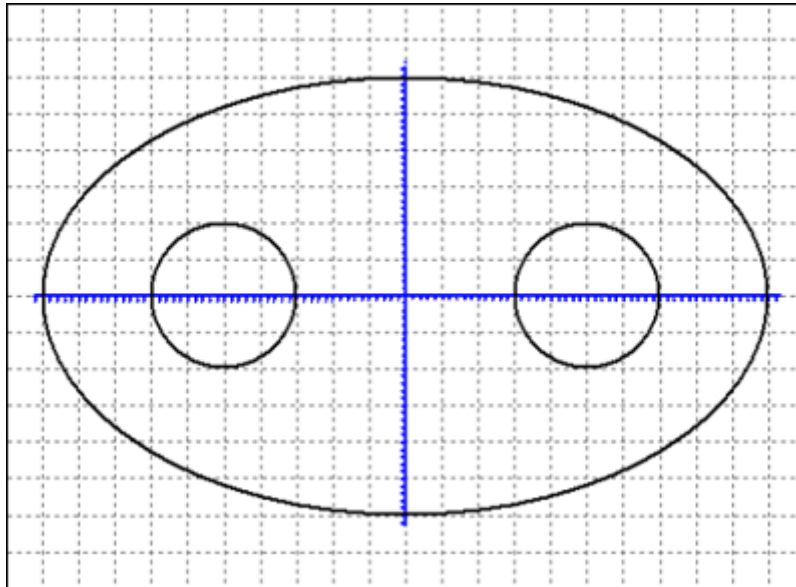



Figura 16.24 – Esempio di sezione complessa

   2.3 Definire il raggio maggiore spostandosi parallelamente all'asse *X* e inserendo il valore in cm, ad esempio 50 Enter

   2.4 Inserire il raggio minore in cm, ad esempio 30 Enter

   2.5 Fissare la rotazione del contorno in gradi 90 Enter

3. Per disegnare il contorni interni:

   3.1 Cliccare sull'icona (cerchio)

   3.2 Fissare il centro del primo foro alle coordinate 25,0 e confermare su Enter

   3.3 Definire il raggio in 10 Enter

   3.4 Analogamente fissare il centro del secondo foro alle coordinate -25,0 Enter

   3.5 Definire il raggio come al punto 3.3

Requisito necessario affinché la procedura SPC riconosca una sezione è che i contorni della stessa debbano essere delle polilinee. Dunque, se i contorni sono rappresentati parzialmente o totalmente da curve occorre convertirle in polilinee.

Per fare questo cliccare sull'icona , cliccare su ognuno dei tre contorni la cui rappresentazione si modificherà da linea continua a linea tratteggiata. Terminare con la voce *Fine* del menu contestuale.

Per definire i contorni esterni e interni della sezione fare riferimento alla procedura di pagina 196.

Come visto per l'esempio dei paragrafi precedenti le frontiere dei contorni interni si evidenzieranno in rosso e la sezione sarà simile a quella rappresentata in figura 16.25.

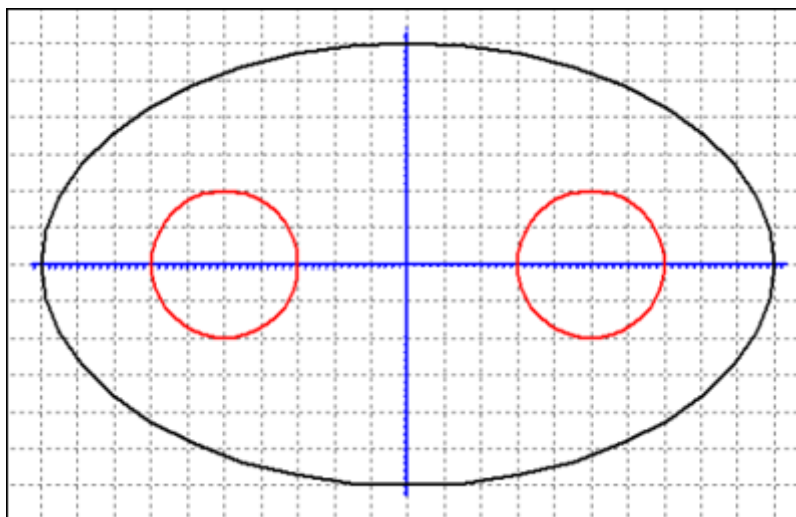



Figura 16.25 – Configurazione finale della sezione

Prima di passare alla fase di calcolo occorre discretizzare la sezione scegliendo la voce di menu Sezione ▷ Crea Mesh il cui risultato è rappresentato in figura 16.26.

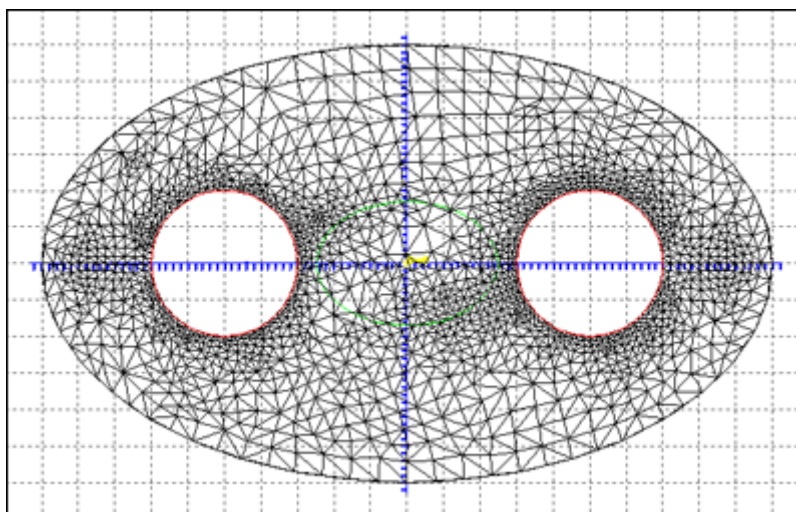



Figura 16.26 – Discretizzazione della sezione

I risultati del calcolo sono riportati nella stampa 16.2 nella pagina successiva e alcuni diagrammi di postprocessing nelle figure 16.27 a pagina 205.

Stampa 16.2 – Risultati del calcolo per la sezione ellittica

```
Statistiche:
    # Equazioni           =6466
    Dim. Vettore matrice =823141
    Max Altezza Colonna  =376
    Altezza media        =126.302969
    # medio di 0 x tri.  =5.999358
    # nodi               =6467
    # triangoli          =3114
tempo medio di soluzione  =0.40(s)

G=(0,0)
C=(0,0)
Proprietà della sezione
   A=4067.3
   Ixx=1.03602e+006
   Iyy=2.51444e+006
   Ixy=0
    Wx=34534
    Wy=50288.9
  Wplx=56980.4
  Wply=83741
   I_xi=2.51444e+006
   I_eta=1.03602e+006
   Alfa_x_xi=90°
  Wcsi=50288.9
  Weta=34534
  Wplcsi=83741
  Wpleta=56980.4
   Jt=2.81911e+006
   Ip=3.55046e+006
   F.tors. q=1.25943
       Bimom.=4.26284e+007
Fattori di taglio
   ChiX=1.24255
   ChiY=1.53212
   ChiXY=0
   1/ChiX=0.804796
   1/ChiY=0.652689
   1/Chixy=INF
Fattori di taglio relativi agli assi principali
   Chi_xi=1.53212
   Chi_eta=1.24255
   Chi_xi_eta=0
```

Altri esempi di sezioni complesse sono raggiungibili attraverso il percorso `C:\Soft.Lab\IperSpaceMax4\iperspacert\Sezioni`.

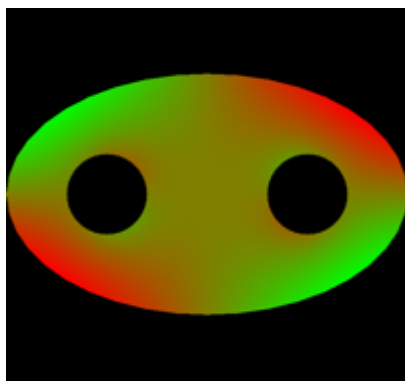
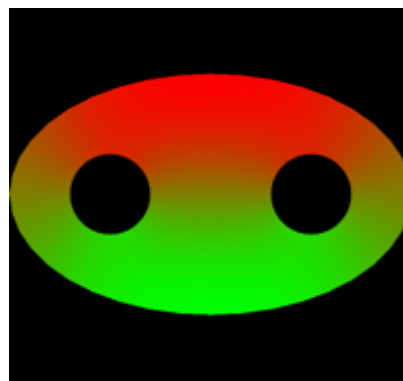
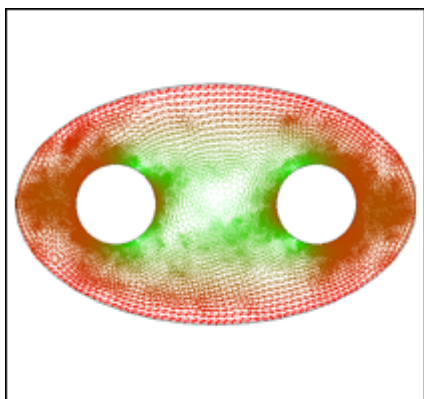
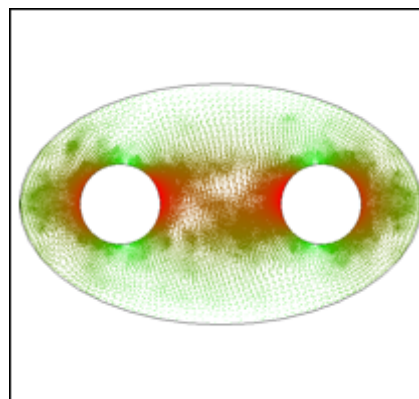
Tra gli esempi disponibili c'è anche la sezione di figura 16.14 a pagina 194, rappresentante una sezione di un binario (Crane Rail); vo-

(a) Ingobbamento da torsione

(b) Ingobbamento da taglio $T_y = 1$

(c) Linee di flusso da torsione

(d) Linee di flusso da taglio $T_y = 1$

Figura 16.27 – Ingobbamento e linee di flusso per la sezione ellittica

lendo calcolarne le proprietà occorre discretizzarla come riportato in figura 16.28.

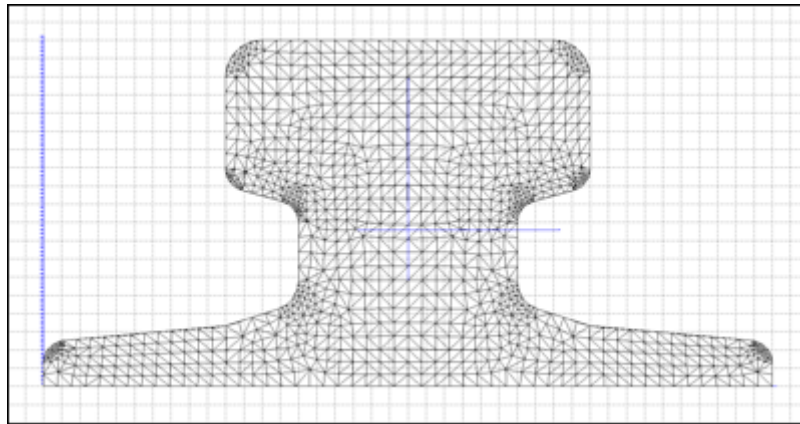



Figura 16.28 – Discretizzazione della sezione *Crane Rail*

I risultati del calcolo sono riportati nella stampa 16.3 e alcuni diagrammi di postprocessing nelle figure 16.29 a pagina 208.

Stampa 16.3 – Risultati del calcolo per la sezione Crane Rail

```
Statistiche:
    # Equazioni           =4448
    Dim. Vettore matrice =405378
    Max Altezza Colonna  =248
    Altezza media        =90.137140
    # medio di 0 x tri.  =6.002372
    # nodi               =4449
    # triangoli          =2108
tempo medio di soluzione  =0.19(s)

G=(100.001,42.8614)
C=(100.001,32.7723)
Proprietà della sezione
   A=9579.99
   Ixx=8.88559e+006
   Iyy=1.3528e+007
   Ixy=54.7337
    Wx=170422
    Wy=135279
  Wplx=263558
  Wply=512096
   I_xi=1.3528e+007
   I_eta=8.88559e+006
   Alfa_x_xi=90°
  Wcsi=135279
  Weta=170422
  Wplcsi=512096
  Wpleta=263558
   Jt=6.80238e+006
   Ip=2.24136e+007
   F.tors. q=3.29496
       Bimom.=5.45189e+009
```

```
Fattori di taglio
   ChiX=1.45793
   ChiY=2.22248
   ChiXY=0
   1/ChiX=0.685903
   1/ChiY=0.449947
   1/Chixy=INF
Fattori di taglio relativi agli assi principali
   Chi_xi=2.22248
   Chi_eta=1.45793
   Chi_xi_eta=0
```

16.4.2 PushOver

File ▷ PushOver

Il comando consente l'analisi statica non lineare di una struttura di **IperSpace MAX**®.

Questo tipo di analisi presuppone l'esistenza, per la struttura corrente, di un calcolo già effettuato.

Il modulo PushOver è un modulo aggiuntivo di **IperSpace MAX**® che consente di eseguire analisi non lineari di tipo pushover sul modello FEM; si basa sul solutore non lineare **SeismoStruct**®, utilizzando il modello a plasticità diffusa a fibre.

Per approfondire gli argomenti trattati si consiglia la consultazione delle note teoriche [Analisi pushover], § 8 a pagina 41 e del manuale d'uso del programma ***SeismoStruct***®*, disponibile all'indirizzo:* `http://www.seismosoft.com/`

Il modulo si compone di un *preprocessore* nel quale si definisce il modello non lineare e in cui si effettuano i calcoli e di un *postprocessore* nel quale si vanno ad eseguire le verifiche sui calcoli effettuati.

Il calcolo della struttura avviene considerando un insieme di forze orizzontali di forma prestabilita che vengono incrementate sino a portare la struttura al collasso.

È possibile definire diverse forme (*pattern*) per le forze:

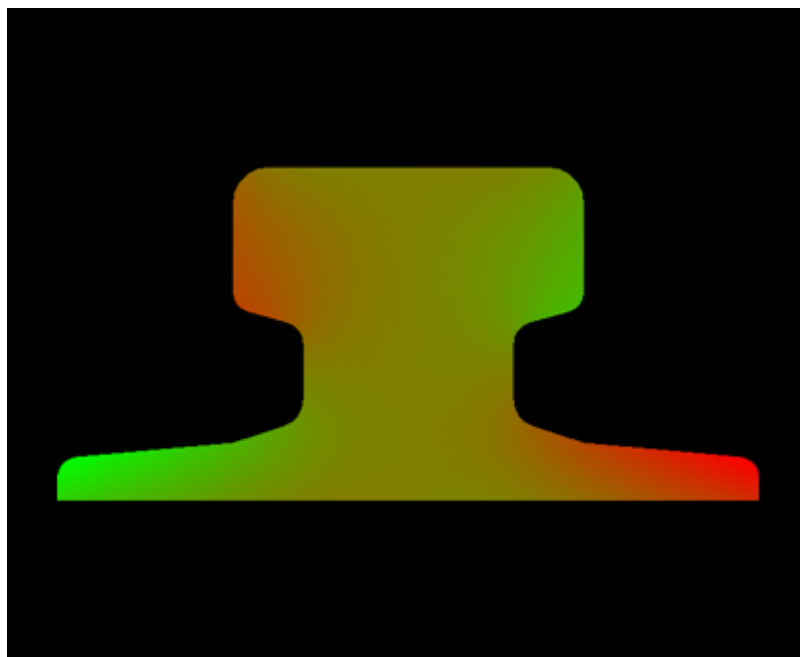
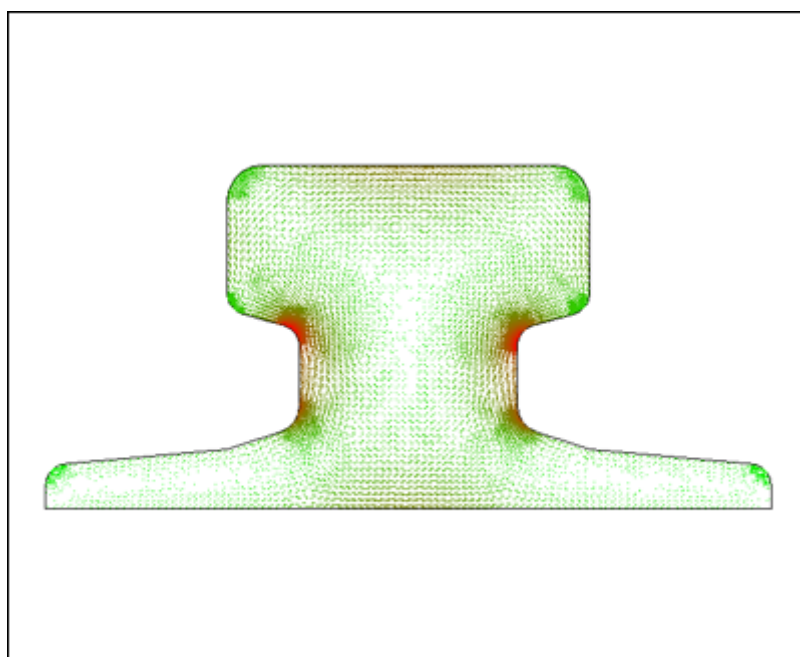
Forma modale: le forze orizzontali applicate alla struttura sono proporzionali agli spostamenti modali corrispondente ad un modo di vibrare della struttura elastica, spostamenti letti dal calcolo classico di **IperSpace MAX**®; l'utente dovrà scegliere il modo corretto corrispondente alla direzione prescelta

(a) Ingobbamento da torsione

(b) Linee di flusso da torsione

Figura 16.29 – Ingobbamento e linee di flusso (torsione) per la sezione Crane Rail

Forma statica triangolare: le forze sono proporzionali alle forze sismiche statiche calcolate considerando i momenti statici delle masse rispetto alla quota z=0

Forma statica costante: le forze orizzontali sono proporzionali alla masse applicate

Mentre per la forma modale è possibile eseguire il calcolo solo per le direzioni X e Y del sistema di riferimento, le forme statiche consentono di effettuare calcoli per una qualunque direzione di ingresso del sisma nel piano.

Il preprocessore consente di effettuare e salvare su disco quanti calcoli si vuole, tali calcoli o parte di essi potranno essere usati per verificare la struttura nel postprocessore. In particolare il calcolo per forme statiche consente di eseguire il calcolo per un prestabilito numero di direzioni nel piano in una unica esecuzione. A tale proposito vi è da osservare che qualche calcolo potrebbe non andare a buon fine, in tal caso esaminando il *log* del solutore è possibile individuare quali sono i calcoli errati e ripetere solo tali calcoli con parametri del solutore diversi per ottenere la convergenza.

*Dato che buona parte dei dati di input vengono recuperati dal modello elastico di **IperSpace MAX**® occorre che in tale modello sia stato effettuato almeno un calcolo di tipo modale, sia per determinare con quale combinazione caricare la struttura con carichi verticali, sia nel caso si voglia usare una forma modale (in questo caso è imperativo avere a disposizione un calcolo) che per determinare lo spettro da usare per le verifiche e per calcolare i periodi di ritorno.*

16.4.2.1 Preprocessore

Una volta lanciato il comando File ▷ PushOver occorre selezionare un calcolo lineare preesistente, come mostrato in figura 16.30.

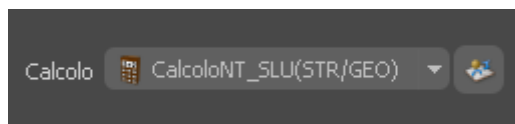



Figura 16.30 – Selezione di un calcolo preesistente

L'ambiente del modulo PushOver si presenta come in figura 16.31 nella pagina successiva.

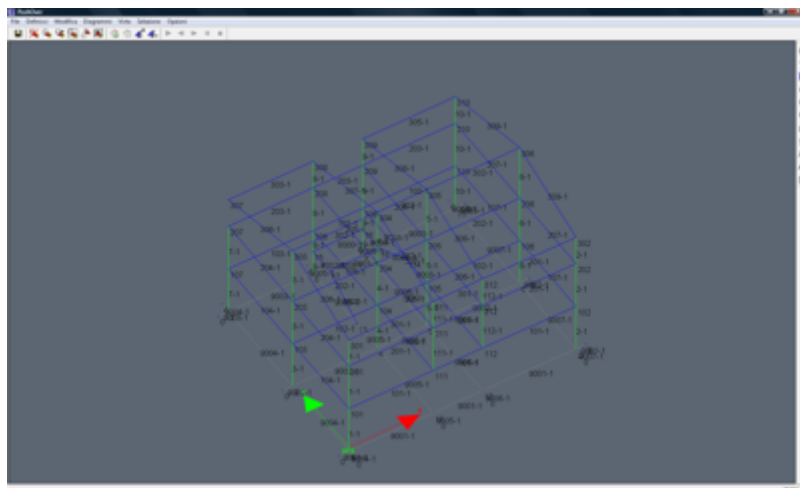



Figura 16.31 – Ambiente del modulo PushOver

Figura 16.32 – Barra dei menu del modulo PushOver

16.4.2.1.1 Menu File (1/3)

Il menu *File* raccoglie i comandi per l'apertura e salvataggio delle strutture, le impostazioni per l'importazione e i comandi per l'esecuzione dei calcoli.

Salva: il comando salva la struttura corrente nel nuovo ambiente.

Nuova: elimina la struttura corrente predisponendosi per un nuovo lavoro.

Importa Struttura: il comando importa la struttura di **IperSpace MAX**® nel modulo PushOver effettuando le opportune suddivisioni delle aste in base all'armatura loro assegnata.

Importa Struttura

Il comando apre il dialogo seguente.

Importa link rigidi Aste: importa solo i link con lunghezza inferiore a quella specificata in *Minima lunghezza* e definisce la sezione con cui verranno modellati (sconsigliato);

Importa solai rigidi: importa i solai definiti rigidi in **IperSpace MAX**®, e definisce la sezione con cui modellare i solai con aste incrociate; se poi nel calcolo si desidera modellarli con aste rigide, vi è comunque la possibilità di farlo utilizzando il modello di corpo rigido (vedi comandi Avvia Calcolo). In questo caso i parametri della sezione sarebbero ignorati.

Opzioni di importazione

Importa Aste a sezione nulla: importa eventuali aste di sezione nulla, queste andranno poi corrette nella pushover assegnando loro materiale e sezione;

Importa Aste che non sono in CLS: importa aste diverse da quelle in calcestruzzo, le aste in acciaio sono modellate a fibre per sezioni note (R,T,I), le aste in legno come aste elastiche;

Ascisse aste acciaio: per le aste di acciaio a fibre occorre specificare il numero e le ascisse di suddivisione di tali aste.

I pulsanti [Aste elastiche] e [Aste escluse] consentono di definire dei filtri in base ai quali le aste saranno trattate in modo elastico, oppure non saranno importate nel modello non lineare. I filtri sono definiti nella maschera seguente che si apre cliccando su uno dei due pulsanti.

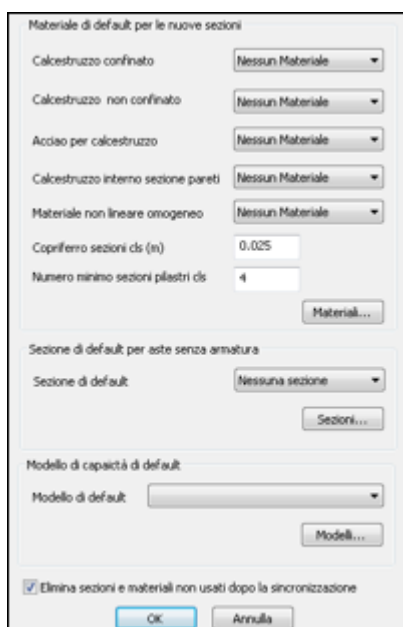
Nella parte superiore sono elencati i filtri creati attraverso i pulsanti inferiori. Il menu a tendina propone due opzioni:

- Applica i filtri se almeno uno è soddisfatto
- Applica i filtri se tutti sono soddisfatti

I filtri sono definiti in base a:

- Sezione
- Materiale
- Criterio di verifica
- Gruppo di appartenenza

Dopo aver definito i parametri precedenti occorre definirne altri per completare la procedura di importazione della struttura; per la maggior parte di esse è sufficiente lasciare i valori predefiniti.

Impostazione materiali

I materiali di default servono nel caso la procedura non sia in grado di determinare i materiali dagli oggetti FEM di **IperSpace MAX**®; se la struttura è stata correttamente definita tali valori non sono necessari. Qualora non fossero stati definiti, ma ve ne fosse la necessità vengono comunque creati dei materiali di default.

Copriferro sezione cls (cm): il solutore assume un unico copriferro per tutte le sezioni, tale assunzione se pur comoda, poiché in genere gli elementi di una struttura hanno quasi sempre tutti lo stesso copriferro, determina una minima approssimazione che è ampiamente

coperta dalle approssimazioni del calcolo non lineare (vedi nota seguente);

Numero minimo sezioni pilastri cls: spesso l'armatura calcolata nei pilastri è definita solo in testa e al piede; tali sezioni rappresentano le sezioni critiche del pilastro soggette a plasticizzazione. Una discretizzazione con due sole sezioni è povera per descrivere la formazione delle cerniere plastiche, quindi si consiglia di suddividere il pilastro in 3 o 4 elementi, la procedura suddivide il pilastro sempre in modo da avere dei tronchi dell'ordine di $1/10 \cdot H_pil$ ai due estremi, mentre al centro considera tronchi di maggiore lunghezza in quanto tale parte non è soggetta a plasticizzazione.

Il valore del copriferro serve al solutore per individuare la parte di calcestruzzo non confinato, e la parte confinata ossia la parte di calcestruzzo esterna ed interna alla staffa. In genere considerando il centro della staffa questo è un valore compreso tra 2 e 3 cm, dunque utilizzando un copriferro di 2.5 cm si commette un errore di qualche centimetro che non ha una grossa influenza sull'economia della sezione.

Modello di capacità: da assegnare alle aste, e pulsante [Modelli] per la gestione e definizione di nuovi modelli.

Il modello non lineare da usare per il calcolo non necessariamente deve coincidere con il modello elastico. Dunque si ha la necessità di escludere delle aste in funzione del fatto che nel modello elastico potrebbero essere presenti elementi che, pur essendo necessari per la definizione della struttura, non lo sono per il modello pushover.

Anzi in tal caso potrebbero provocare solo complicazioni di analisi senza avere un peso rilevante sulla struttura.

Ad esempio, la presenza di sbalzi molto caricati potrebbe portare le aste a sbalzo ad essere plasticizzate già per carichi verticali e quindi l'analisi pushover non fornirebbe nessuna informazione sulla capacità della struttura di sopportare carichi orizzontali che maggiormente impegnerebbero i pilastri.

Quindi si ritiene sia buona norma considerare solo quegli elementi che costituiscono il sistema di aste resistente al sisma escludendo tutti gli altri elementi sostituendo, ad esempio, gli sbalzi con i carichi equivalenti nel nodo.

16.4.2.1.2 Menu File (2/3)

Sincronizza gli oggetti: consente di aggiornare tutti gli elementi in base alla modifiche fatte in **IperSpace MAX**®; il comando potrebbe es-

sere sostituito dal comando *Importa Struttura*, infatti tale comando presenta lo stesso dialogo nella seconda fase.

Sincronizza selezionati: equivalente alla voce precedente eccetto che per il fatto che agisce solo sugli elementi selezionati.

Controllo modello: esegue un controllo sulla bontà del modello per gli errori più comuni.

Avvia calcolo forma statica e Avvia calcolo forma modale: eseguono il calcolo con parametri da specificare nel caso di forme di forza statiche (triangolari o costanti) o forme di forza di tipo modale. Il calcolo per forme statiche prevede la possibilità di effettuare più calcoli per diverse direzioni in pianta del sisma pertanto andrà definito un angolo iniziale, uno finale e l'incremento dell'angolo. L'impostazione del calcolo prevede la definizione di parametri di diverse categorie.

Dati calcolo (forma statica)

Il primo dialogo dei dati di calcolo cambia a seconda che si scelga il tipo statico o modale.

Descrizione: etichetta identificativa del calcolo cui verrà assegnato un nome che avrà la forma *DESC_N°* dove "DESC" è il valore assunto da questo campo ed "N°" è l'angolo di ingresso del sisma. Eventuali calcoli già presenti con lo stesso nome verranno sostituiti da quello corrente.

Combinazione: la combinazione sismica prescelta per determinare l'entità dei carichi verticali.

Attiva gli impalcati rigidi: nel caso si siano importati i solai rigidi indica se attivare o meno gli impalcati rigidi.

Tagliante alla base nominale (daN): il valore complessivo del tagliante sarà dato dal prodotto di questo valore per il moltiplicatore dei carichi orizzontali.

Effettua il calcolo solo per i carichi incrementali: se attivato effettua il calcolo solo per carichi orizzontali senza applicare i carichi verticali.

Distribuzione delle forze orizzontali: tipologia della forma delle forze orizzontali: è possibile scegliere tra *Uniforme* o *Triangolare*.

Percentuale spostamento masse impalcato(%): valore dello spostamento delle masse da applicare nella direzione dei calcoli.

Incremento angolo ingresso sisma: valore con cui incrementare l'angolo di ingresso del sisma per ottenere la direzione delle forze per il calcolo corrente.

Angolo iniziale (0-360°): valore in gradi dell'angolo del primo calcolo.

Angolo finale (0-360°): valore in gradi dell'angolo dell'ultimo calcolo.

Nodo di controllo: presenta la lista dei nodi del modello tra cui scegliere il nodo di controllo; da default viene scelto il nodo all'ultimo impalcato più vicino al centro geometrico dell'impalcato.

Numero di steps: numero di steps da considerare per gli incrementi di spostamento del nodo di controllo.

Spostamento ultimo del nodo: spostamento massimo che il nodo di controllo dovrà avere nella direzione delle forze (in maniera predefinita è assegnato il 5% dell'altezza totale dell'edificio).

Metodo calcolo spost.: definisce il metodo del calcolo degli spostamenti da utilizzare per ottenere il fattore di partecipazione. Questo può essere scelto tra le due opzioni:

- *Dal calcolo statico non lineare*, nel qual caso occorre specificare lo *Step di calcolo* che si vuole prendere in considerazione;
- *Da calcolo lineare*, in questo caso il calcolo lineare è un calcolo di **IperSpace MAX**® per cui occorre specificarne la *Posizione masse*.

Durante la fase di elaborazione per forme di calcolo uniforme o triangolare è possibile eseguire più calcoli contemporaneamente, ognuno dei quali presenta una direzione diversa delle forze orizzontali.

La direzione viene determinata partendo dalla direzione iniziale ed incrementando l'angolo per ogni calcolo della quantità indicata nell'incremento dell'angolo.

La scelta del nodo di controllo, dello spostamento ultimo e del numero di steps deve essere scelto in modo appropriato da parte dell'utente. Per strutture abbastanza regolari in pianta e regolari in elevazione le scelte proposte da default sono adatte per una casistica di strutture abbastanza estesa.

Vi possono essere casi però, in cui tali scelte non siano adatte per diversi motivi:

- La struttura presenta rigidezze molto più elevate su un lato, in tal caso essa tende a ruotare intorno alla parte rigida presentando spostamenti molto più grandi lontano dal centro di rotazione. Dunque qualora il nodo di controllo venisse scelto vicino alla parte rigida, prima che questo abbia raggiunto il valore dello spostamento assegnato, i nodi degli elementi posti a una certa distanza da esso avrebbero raggiunto una traslazione tale per cui gli elementi associati sarebbero ormai in piena crisi e il solutore non sarebbe più in grado di convergere non potendo portare a termine l'analisi.

- La struttura presenta meccanismi di piano soffice ai piani bassi. In questo caso la parte superiore traslerebbe semplicemente della quantità in testa ai pilastri del piano soffice. Dunque il raggiungimento dello spostamento ultimo al piano più alto corrisponderebbe allo spostamento relativo della testa e del piede dei pilastri del piano soffice. Ne consegue che il raggiungimento di un valore elevato corrisponderebbe a situazioni per i pilastri del piano soffice tali da non poter essere completata l'analisi.

- Il numero di steps è basso per lo spostamento richiesto. In tal caso l'incremento di spostamento nelle varie iterazioni è alto e potrebbe essere tale da non far convergere le iterazioni ai vari step; ciò potrebbe dipendere anche dalle tolleranze che si sono adottate.

Dati calcolo (forma modale)

I dati di calcolo della forma modale sono fondamentalmente gli stessi del calcolo per forze statiche.
La differenza sta nel fatto che in questo caso è possibile scegliere solo le direzioni principali X o Y, e anziché definire la direzione di ingresso del sisma occorre scegliere il modo che meglio rappresenta la deformata nella direzione prescelta.
Ciò si persegue scegliendo il modo che eccita la maggior parte delle masse in tale direzione.

Ad esempio nel dialogo di figura è stato scelto il modo 1 che eccita il 78% delle masse in direzione 0° (direzione X) e lo 0% nella direzione a 90° (direzione Y). Oltre a questo occorre definire per quale posizione delle masse si vuole applicare tale modo (si ricorda che i modi di vibrare sono diversi a seconda di quale posizione delle masse viene scelta).

Riguardo ai dati di verifica occorre scegliere la posizione delle masse e il periodo da utilizzare per determinare il coefficiente di partecipazione

del sistema *MDOF*; generalmente questi saranno gli stessi utilizzati per il calcolo.

Nel seguito vengono descritte le proprietà comuni ad entrambi i tipi di calcolo (forma statica e modale).

Strategia di iterazione

Il dialogo seguente consente di definire una serie di parametri utili al solutore per portare a termine la soluzione del problema.

Numero di Iterazioni per step: definisce il massimo numero di iterazioni da eseguire per ogni incremento di carico; il valore di default è 40 ed è adeguato per la maggior parte delle applicazioni pratiche. Comunque quando le strutture sono soggette ad elevati tassi di non linearità geometriche e/o inelasticità dei materiali, potrebbe essere necessario aumentare tale valore.

Lo stesso accade quando vi sono elementi con rigidezze molto diverse tra loro (ad esempio quando si importano i link rigidi), in tal caso occorrono molte iterazioni prima che si sia raggiunto l'equilibrio.

Numero di iterazioni per la divergenza: definisce il numero di iterazioni oltre il quale vengono effettuati controlli e previsione di divergenza. In tutte le iterazioni successive, se si è trovato che la soluzione diverge oppure che il numero di iterazioni previste per la convergenza eccede questo limite, vengono interrotte le iterazioni dello step corrente, viene ridotto l'incremento e l'analisi riprende dall'ultimo punto di equilibrio. Questi due controlli sono molto utili per evitare iterazioni in cui sia difficile raggiungere l'equilibrio all'interno dell'incremento corrente ma risluta molto difficile se non impossibile raccomandare un valore ideale che possa funzionare per tutti i tipi di analisi.

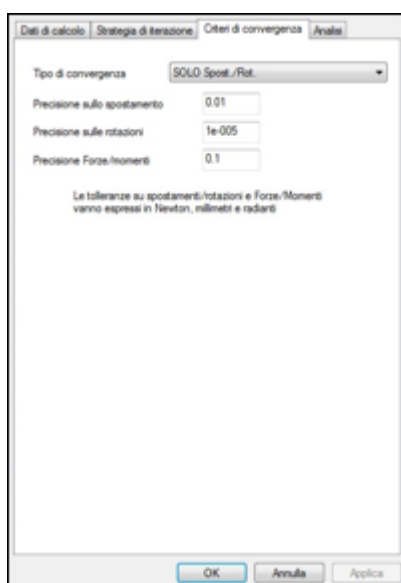
Infatti, se il numero è troppo basso potrebbe non consentire la convergenza relativa a problemi con elevate non linearità, mentre se è troppo alto la soluzione potrebbe tendere verso soluzioni spurie dalle quali la convergenza sarebbe impossibile (tipicamente modelli con elementi molto rigidi insieme ad elementi con rigidezza modesta). Un valore intorno al 75% del massimo numero di iterazioni per lo step potrebbe essere un buon punto di partenza.

Numero di aggiornamenti della matrice di rigidezza: definisce il numero di iterazioni, dall'inizio dello step corrente, dopo il quale la matrice tangente della struttura è ricalcolata e aggiornata. Assegnare un valore nullo a questo parametro significa adottare la procedura di *Newton-Raphson* modificata (tutte le iterazioni sono effettuate con la stessa matrice tangente iniziale), mentre assegnarlo uguale al numero di iterazioni per step significa utilizzare il metodo di *Newton-Raphson* puro (la matrice viene aggiornata ad ogni passo). Generalmente il numero ottimale di aggiornamenti della matrice è compreso tra il 50 e 75% del massimo numero di iterazioni per lo step.

Massima tolleranza: quando la norma euclidea del residuo delle forze applicate supera questo valore allora il solutore assume che la soluzione è instabile e procede alla riduzione dell'incremento. In tal caso la soluzione riparte dal precedente punto di equilibrio.

Massima riduzione dello step: ogni volta che si presentano problemi di convergenza si passa ad una riduzione dello step prima di riavviare l'analisi dall'ultimo punto di equilibrio. Per evitare analisi che potrebbero non convergere mai, per evitare di iterare indefinitamente, viene imposta una massima riduzione dello step oltre il quale l'analisi viene comunque interrotta. Il valore di default è 0.001 ossia 1000 volte più piccolo dell'incremento iniziale.

Moltiplicatori riduzione dello step: ogni volta che è necessario ridurre lo step è possibile specificare di quanto ridurlo. Quando la soluzione è molto lontana dalla convergenza si usa il moltiplicatore basso dello step (0.125 da default); quando invece la soluzione è molto vicina alla convergenza si usa il moltiplicatore alto (0.5 da default); per valori intermedi si usa il moltiplicatore medio (0.25 da default). Quando si è raggiunta la convergenza durante un'iterazione in cui sia stato necessario ridurre lo step allora l'incremento viene gradualmente aumentato utilizzando i fattori di incremento dello step. Quindi, a seconda di come l'analisi converge verrà usato il moltiplicatore basso, medio o alto.

Criteri di convergenza

Per controllare la convergenza sono disponibili quattro differenti schemi:

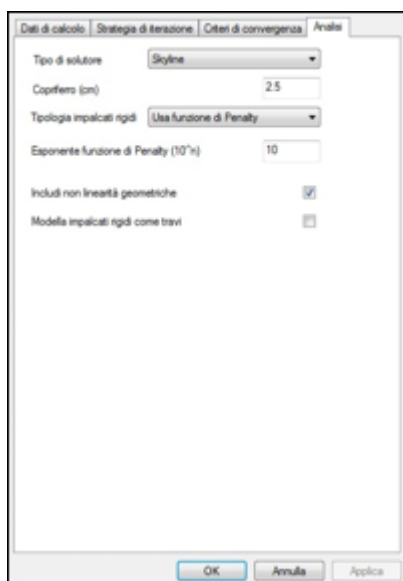
Solo spostamenti e rotazioni: per ogni grado di libertà della struttura, nella iterazione corrente, occorre verificare che sia minore o uguale alla tolleranza specificata dall'utente.

Solo forze e momenti: per ogni valore dell'azione nodale, in ogni nodo occorre verificare che il valore corrente sia contenuto nella precisione specificata dall'utente.

Forze e momenti E ANCHE spostamenti e rotazioni: consiste nel verificare che entrambe le condizioni precedenti siano soddisfatte.

Forze e momenti OPPURE spostamenti e rotazioni: occorre controllare che una delle due condizioni sia verificata e quindi si assume la convergenza quando una di esse è soddisfatta.

Occorre sottolineare che non esiste un insieme di parametri per la convergenza che possano essere usati per qualsiasi struttura. I valori predefiniti possono essere usati nella maggioranza delle applicazioni pratiche. Questi andranno modificati opportunamente per la struttura in esame. Basti osservare che un criterio di convergenza molto *stretto* porta a soluzioni maggiormente esatte ma, potrebbe non consentire la convergenza; viceversa criteri molto *larghi* porterebbero a una convergenza rapida ma con perdita di precisione. Per maggiori dettagli si consulti il manuale di **SeismoStruct**®.

Analisi

Tipo di solutore: può essere *Skyline* o *Frontal*, mentre il primo metodo può risultare più lento per strutture grandi risulta essere maggiormente stabile rispetto al secondo.

Copriferro: valore globale da usare nella definizione delle sezioni in calcestruzzo.

Tipologia impalcati rigidi: permette la scelta del tipo di modellazione degli impalcati rigidi tra:

- Funzione di penalty
- Moltiplicatori di *Lagrange*
- Elementi beam incrociati

il concetto alla base dei moltiplicatori e *funzione di penalty* è quello di aggiungere delle equazioni che rappresentino il vincolo, moltiplicate per un numero molto grande in modo che gli altri termini dell'equazione spariscano rispetto a quelli aggiunti.

Per chiarire il concetto di funzione di penalty si consideri la seguente matrice di rigidezza, e vettore dei termini noti (al momento non è interessante da quale modello abbia origine tale matrice):

$$K := \begin{bmatrix} \frac{24\,EIz}{l^3} & 0 & \frac{6\,EIz}{l^2} \\ 0 & \frac{8\,EIz}{l} & \frac{2\,EIz}{l} \\ \frac{6\,EIz}{l^2} & \frac{2\,EIz}{l} & \frac{4\,EIz}{l} \end{bmatrix} B := \begin{bmatrix} F \\ M_1 \\ M_2 \end{bmatrix}$$

le incognite del problema siano:

$$inc := \begin{bmatrix} u_1 & u_2 & u_3 \end{bmatrix}$$

l'energia elastica e l' energia potenziale del sistema saranno:

$$E_t := \frac{\left(\frac{24\,u_1 EIz}{l^3} + \frac{6\,u_3 EIz}{l^2}\right)}{2} u_1 + \frac{\left(\frac{8\,u_2 EIz}{l} + \frac{2\,u_3 EIz}{l}\right)}{2} u_2 + \frac{\left(\frac{6\,u_1 EIz}{l^2} + \frac{2\,u_2 EIz}{l} + \frac{4\,u_3 EIz}{l}\right)}{2} u_3$$

$$U := u_1 F + u_2 M_1 + u_3 M_2$$

Si supponga di imporre che sia $u_2 = u_3$ corrispondente alla equazione $(u_2 - u_3) = 0$ aggiungendo all'energia il termine $\varepsilon(u_2 - u_3)^2$ si otterrà:

$$E_{tpen} := \frac{\left(\frac{24\,u_1 EIz}{l^3} + \frac{6\,u_3 EIz}{l^2}\right)}{2} u_1 + \frac{\left(\frac{8\,u_2 EIz}{l} + \frac{2\,u_3 EIz}{l}\right)}{2} u_2 + \frac{\left(\frac{6\,u_1 EIz}{l^2} + \frac{2\,u_2 EIz}{l} + \frac{4\,u_3 EIz}{l}\right)}{2} u_3 + \\ + \varepsilon(u_2 - u_3)^2$$

in questo caso, effettuando le opportune derivazioni, la matrice di rigidezza e il termine noto diventano:

$$\begin{bmatrix} \frac{24\,EIz}{l^3} & 0 & \frac{6\,EIz}{l^2} \\ 0 & \frac{8\,EIz}{l} + 2\varepsilon & \frac{2\,EIz}{l} - 2\varepsilon \\ \frac{6\,EIz}{l^2} & \frac{2\,EIz}{l} - 2\varepsilon & \frac{4\,EIz}{l} + 2\varepsilon \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F \\ M_1 \\ M_2 \end{bmatrix}$$

La soluzione che si ottiene è:

$$s_{pen} := \begin{bmatrix} \frac{(7EIz+8\varepsilon l)l^3 F}{6EIz(16EIz+29\varepsilon l)} - \frac{(-EIz+\varepsilon l)l^2 M_1}{2EIz(16EIz+29\varepsilon l)} - \frac{l^2(4EIz+\varepsilon l)M_2}{2EIz(16EIz+29\varepsilon l)} \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} -\frac{(-EIz+\varepsilon l)l^2 F}{2EIz(16EIz+29\varepsilon l)} + \frac{(5EIz+4\varepsilon l)l M_1}{2EIz(16EIz+29\varepsilon l)} + \frac{2l(-EIz+\varepsilon l)M_2}{EIz(16EIz+29\varepsilon l)} \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} -\frac{l^2(4EIz+\varepsilon l)F}{2EIz(16EIz+29\varepsilon l)} + \frac{2l(-EIz+\varepsilon l)M_1}{EIz(16EIz+29\varepsilon l)} + \frac{2l(4EIz+\varepsilon l)M_2}{EIz(16EIz+29\varepsilon l)} \end{bmatrix}$$

passando al limite per ε che tende all'infinito si ottiene:

$$u_1 = \frac{l^2(8lF - 3M_1 - 3M_2)}{174EIz}$$
$$u_2 = -\frac{l(lF - 4M_1 - 4M_2)}{58EIz}$$
$$u_3 = -\frac{l(lF - 4M_1 - 4M_2)}{58EIz}$$

Volendo ottenere la stessa soluzione imponendo $u_2 = u_3$ nell'espressione di E_t, le incognite del problema si ridurranno alle sole u_1 e u_2 e le energie saranno:

$$E_{te} := \frac{\left(\frac{24\,u_1 EIz}{l^3} + \frac{6\,u_2 EIz}{l^2}\right)}{2} u_1 + \frac{5u_2^2 EIz}{l} + \frac{\left(\frac{6\,u_1 EIz}{l^2} + \frac{6\,u_2 EIz}{l}\right)}{2} u_2$$

$$U_e := u_1 F + u_2 M_1 + u_2 M_2$$

e le incognite:

$$inc_e := \begin{bmatrix} u_1 & u_2 \end{bmatrix}$$

Effettuando le opportune derivazioni si otterrà la nuova matrice di rigidezza e il nuovo vettore dei termini noti:

$$\begin{bmatrix} \frac{24\,EIz}{l^3} & \frac{6\,EIz}{l^2} \\ \frac{6\,EIz}{l^2} & \frac{16\,EIz}{l} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F \\ M_1 + M_2 \end{bmatrix}$$

Il sistema fornirà la soluzione:

$$u_1 = \frac{l^2(8lF - 3M_1 - 3M_2)}{174EIz} \quad u_2 = -\frac{l(lF - 4M_1 - 4M_2)}{58EIz}$$

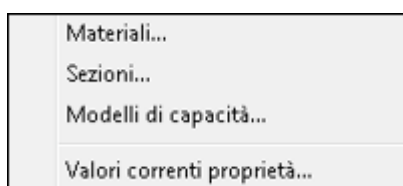
Ottenendo in tal modo la stessa soluzione cui si è arrivati in precedenza.
Risulta ovvio che per valori di ε molto alti la soluzione tende a quella esatta, infatti il termine $(u_2 - u_3)^2$ equivale ad inserire una molla di rigidezza 2ε tra i gradi di libertà u_2 e u_3; il valore di tale moltiplicatore (*pseudo rigidezza*) dovrà essere grande in modo da rendere $u_2 = u_3$ ma non tanto da mal condizionare la matrice di rigidezza.

16.4.2.1.3 Menu File (3/3)

Interrompi Calcolo: consente di interrompere un calcolo mentre il solutore è in esecuzione.

Mostra Log ultimo calcolo: visualizza l'output del solutore relativamente all'ultima fase di calcolo, che spesso è utile per individuare errori nel solutore o, quando si eseguono più calcoli contemporaneamente, per individuare quali calcoli non sono andati a buon fine e ripeterli con parametri diversi.

16.4.2.1.4 Menu Definisci

Il menu *Definisci* permette di specificare le proprietà delle aste prima di passare alla fase di analisi.

Materiali: consente di definire/modificare i materiali del modello.

Sezioni: definisce diverse tipologie di sezioni, per elementi in calcestruzzo armato, in acciaio e per elementi elastici.

Modelli di capacità: definisce i modelli di capacità per aste in calcestruzzo per caratterizzare i criteri per le verifiche duttili.

Valori correnti proprietà: raccoglie le proprietà correnti (materiali, sezioni e modelli di capacità) associate agli elementi.

Materiali

I materiali disponibili sono:

stl_bl: modello acciaio bilineare per calcestruzzo. I parametri che lo definiscono sono di facile comprensione, il parametro γ_s viene usato nelle verifiche per la determinazione della f_{yd}.

stl_bl: modello acciaio bilineare per acciaio. Analogamente al modello per il calcestruzzo lo stesso modello può essere utilizzato per aste in acciaio, in aggiunta vi sono una serie di parametri per la determinazione dei fattori di sovraresistenza (vedi Allegato 11.B [OPCM3431, 2005]).

stl_mp: modello acciaio Menegotto-Pinto per calcestruzzo. A parte i parametri comuni con *stl_bl*, occorre definire ulteriori parametri che caratterizzano il degrado dell'acciaio (*effetto Bauschinger*), questo modello è maggiormente indicato per analisi cicliche di tipo time-history e non è particolarmente adatto per analisi pushover anche per la difficile determinazione dei parametri di transizione degli asintoti. Per maggiori dettagli si veda [Menegotto-Pinto steel model - stl_mp], § 8.2.1 a pagina 43.

stl_mp: modello acciaio Menegotto-Pinto per acciaio; è definito dagli stessi parametri del modello per il calcestruzzo e dagli stessi parametri di verifica definiti in *stl_bl* per acciaio.

con_cc: modello calcestruzzo a confinamento costante. I parametri definiscono la curva tensione-deformazione del calcestruzzo. La resistenza a trazione, seppur dovendo essere nulla, conviene porla ad un valore molto basso per motivi di convergenza; il fattore di confinamento è un coefficiente compreso in genere tra 1 e 1.3 in dipendenza del diametro e del passo delle staffe nonché dal metodo di realizzazione delle stesse (2 o 4 braccia, a rombo ecc.). Lo stesso materiale si applica al calcestruzzo non confinato con fattore di

confinamento pari a 1. Per maggiori dettagli si veda [Calcestruzzo confinato], § 8.2.2 a pagina 45.

el_mat: materiale completamente elastico; esso è definito dal modulo elastico e dal coefficiente di Poisson. Quando ad una sezione di un elemento viene assegnato tale materiale l'elemento è considerato come un elemento puramente elastico e non entra nelle verifiche.

Figura 16.33 – Parametri per il modello *stl_bl* acciaio bilineare per calcestruzzo

Figura 16.34 – Parametri per il modello *stl_bl* acciaio bilineare per acciaio

16.4.3 Verifica Sezioni

File ▷ Verifica Sezioni

Permette la verifica, sia alle *Tensioni Ammissibili* che agli *Stati Limiti*, di una sezione in calcestruzzo, o composta, indipendentemente dalla struttura corrente.

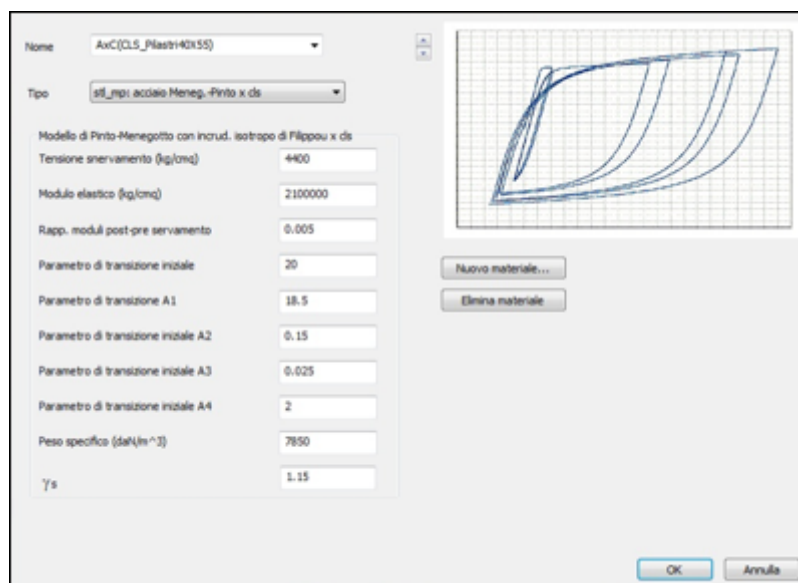



Figura 16.35 – Parametri per il modello *stl_mp* acciaio Menegotto-Pinto per calcestruzzo

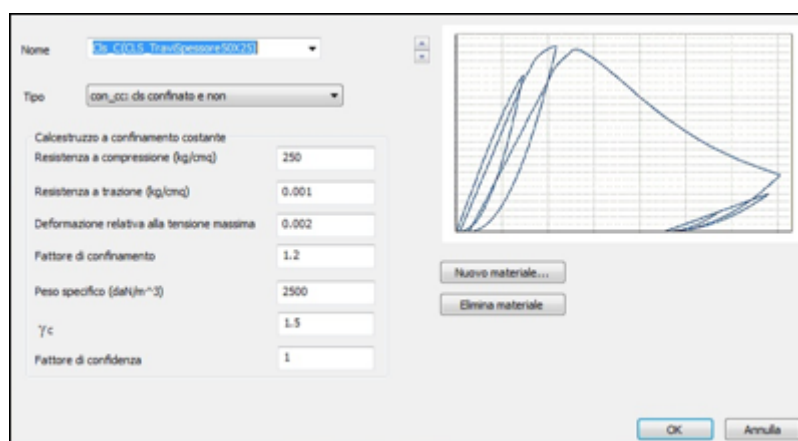



Figura 16.36 – Parametri per il modello *con_cc* calcestruzzo a confinamento costante

Per le note teoriche fare riferimento ai capitoli [Verifica delle sezioni generiche in calcestruzzo], § 12 a pagina 113 e [Verifica delle sezioni composte], § 13 a pagina 125.

Una volta lanciato l'applicativo si entrerà nell'ambiente di figura 16.37.

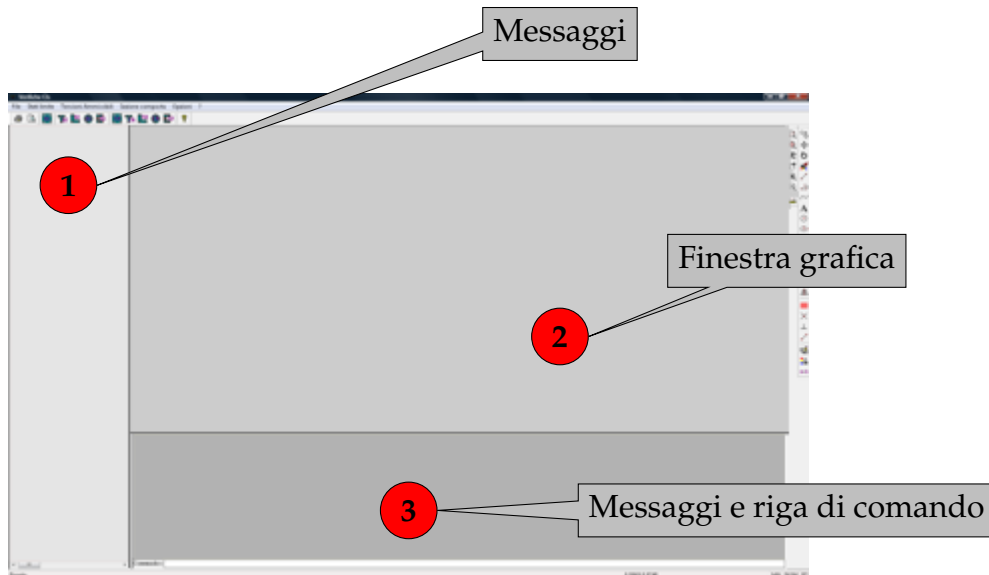



Figura 16.37 – Verifica sezioni - Interfaccia grafica

La finestra dell'applicativo si compone di tre aree:

1. una finestra per i messaggi;
2. una finestra grafica;
3. una finestra dei messaggi per la finestra grafica con una barra dei comandi per inserire valori numerici.

La finestra grafica dispone di una serie di comandi che consentono di disegnare elementi grafici ed è usata per la definizione delle sezioni.

Cliccando con il tasto destro del mouse all'interno dell'area costituita dalla vista grafica si attiva il menu contestuale di figura 16.38(a) nella pagina successiva.

Attraverso il sottomenu *Disegno*, vedi fig. 16.38(c) a fronte, è possibile definire una nuova sezione avvalendosi di primitive grafiche. Il modo più rapido però è quello di importare un disegno della sezione, in formato **DXF**®, in cui si siano disegnati i vari contorni. In tal caso basterà definire la sezione attraverso i comandi disponibili nella barra di controllo.

(a) Voci principali

(b) Sottomenu Modifica

(c) Sottomenu Disegno

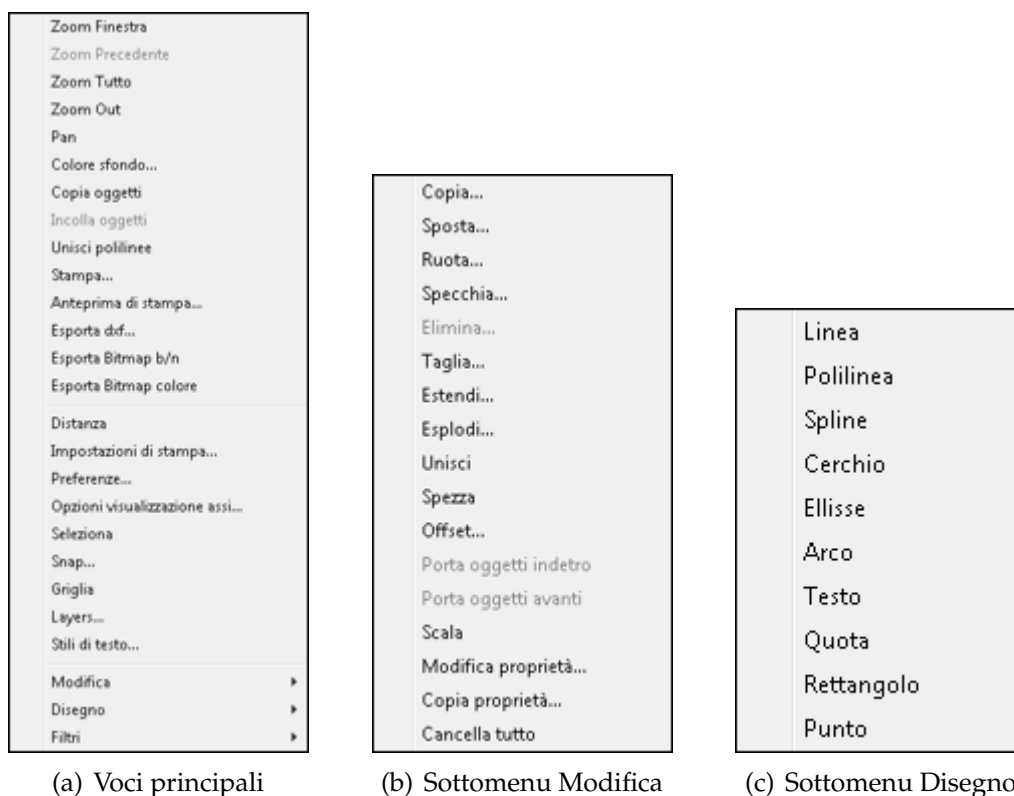



Figura 16.38 – Verifica sezioni - Menu contestuale della vista grafica

I tondini di acciaio sono rappresentati da elementi cerchio e nel modello sono considerati puntiformi; è possibile comunque definire dei tondini come domini contenuti assegnando loro il materiale corretto, ma in questo caso occorre disegnarli come polilinee.

16.4.3.1 Definizione della sezione

La sezione viene definita aggiungendo di volta in volta un contorno, selezionando una polilinea dalla finestra grafica.

Una volta selezionato, se il contorno è valido ne viene modificato il colore e gli viene assegnato un nome nella forma "Dominio x" dove x è un numero progressivo; è comunque possibile modificarne il nome successivamente.

Quindi è possibile aggiungere fori, selezionando delle polilinee contenute, o aggiungere tondini. Tutte le modifiche fatte nella finestra grafica si riflettono sulla sezione, ma è buona norma definire inizialmente tutto ciò che individua la sezione evitando di modificare la geometria successivamente.

Ad esempio, potrebbe accadere di aver definito una sezione in calcestruzzo e successivamente se ne va a modificare il contorno cosicché si

lasciano all'esterno i tondini, oppure si vanno a modificare le polilinee intersecando i contorni.

Per semplificare l'input delle parti di sezioni con materiale diverso è stato previsto il comando *Aggiungi contorno contenuto* che genera automaticamente prima il foro e poi il nuovo dominio, altrimenti sarebbe complicato disegnare una polilinea sovrapposta e selezionarne una per il foro e l'altra per il contorno interno.

I comandi per la definizione dei tondini agiscono solo se essi sono contenuti in un dominio cui sia stato assegnato il modello di calcestruzzo.

16.4.3.2 Sezione composta

Selezionando la voce di menu Sezione composta ▷ Sezione Composta generica , nella barra di controllo compariranno le proprietà di figura 16.39.

Figura 16.39 – Barra di controllo per le sezioni composte

Cliccando sulla voce di menu Sezione si attiverà il menu di figura 16.40.

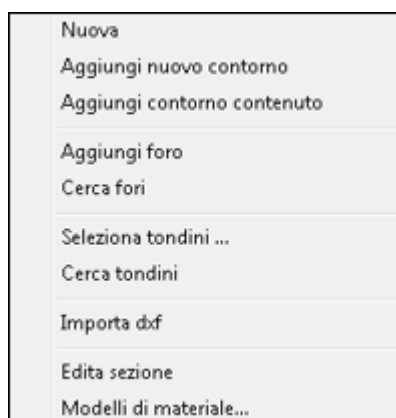



Figura 16.40 – Menu Sezione

Nuova: Il comando sgancia tutti gli elementi grafici dalla sezione e prepara il programma alla generazione di una nuova sezione.

Aggiungi nuovo contorno: Consente di selezionare un oggetto polilinea per definire un nuovo contorno, la polilinea deve essere chiusa.

Aggiungi contorno contenuto: È un comando speciale che consente di trasformare una parte di sezione in una parte con materiale diverso. Il comando agisce su una polilinea contenuta in un contorno già definito, la polilinea viene aggiunta prima come foro al contorno che la contiene e poi viene aggiunta di nuovo nella stessa posizione per definire un dominio cui verrà assegnato il modello corrente, che potrà comunque essere modificato a posteriori.

Aggiungi foro: Il comando aggiunge una polilinea a un contorno già esistente come foro nel dominio, il foro deve essere completamente contenuto nel dominio e non deve intersecare altri contorni di tipo foro o dominio contenuto.

Cerca fori: Il comando scorre il database degli oggetti grafici e controlla se vi sono polilinee contenute in contorni già definiti, quando ne trova una la aggiunge al contorno che la contiene come foro. L'individuazione dei fori nel caso si siano disegnate polilinee una contenuta nell'altra dipende essenzialmente dall'ordine con cui tali polilinee vengono incontrate nel database degli oggetti grafici. Quindi nel caso si verifichi tale eventualità è buona norma tener presente l'ordine con cui si disegnano i fori, nel caso non vi siano polilinee contenute una nell'altra allora l'ordine è indifferente.

(a) Primo ordine di inserimento

(b) Secondo ordine di inserimento

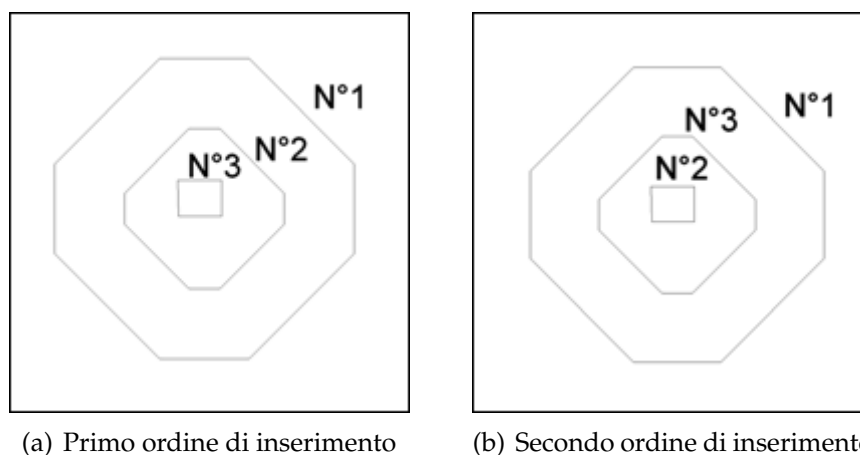



Figura 16.41 – Ordine di inserimento dei domini

Per comprendere meglio l'ultima considerazione si confrontino le figure 16.41. Supponendo che le etichette numeriche rappresentino l'ordine con cui i contorni siano stati creati allora nel primo caso *1* è il contorno esterno e l'esagono interno è l'unico foro individuato; nel secondo caso l'unico foro individuato è il rettangolo.

16.4.3.3 Modelli dei materiali

L'utente può definire quanti materiali desidera; essi verranno memorizzati su disco in un file *xml*. I modelli preesistenti nel database sono indipendenti e possono essere utilizzati come base per una sezione con altre caratteristiche. Ne viene fatta una copia e la modifica, attraverso la gestione dei modelli, non altera i valori assegnati alla sezione; tali valori vanno modificati successivamente dopo che essi siano stati assegnati alla sezione attraverso il comando *Edita Sezione*.

Dunque se si invoca il comando scegliendo, dal navigatore di figura 16.42, il modello di materiale sarà possibile modificare i dati presenti oppure sostituire il modello esistente con una copia di quelli presenti nel database generale.

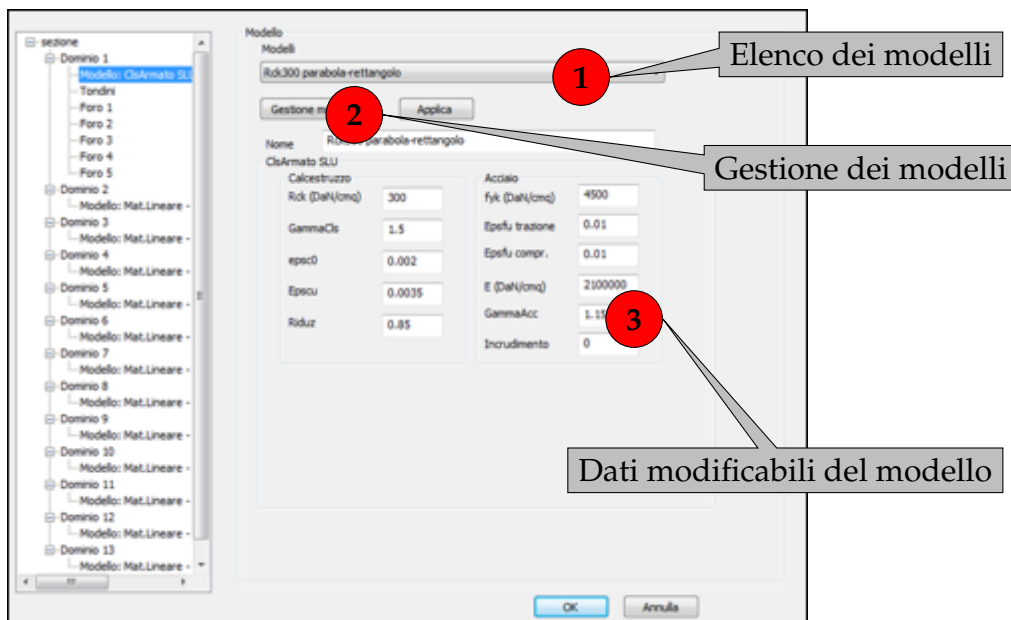



Figura 16.42 – Dialogo di definizione dei materiali

16.5 Nodi acciaio

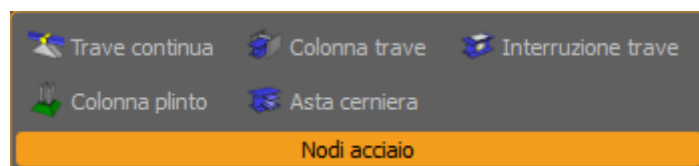



Figura 16.43 – Menu File - Nodi acciaio

Raccoglie i comandi per la verifica dei collegamenti in acciaio.

16.5.1 Trave continua

File ▷ Trave continua

Verifica il nodo in funzione delle sollecitazioni di estremità delle travi: solo i momenti che tendono le fibre superiori. Il comando prevede di selezionare delle coppie di aste e un nodo di estremità in comune alle due. Il nodo deve essere una cerniera in modo da consentire la rotazione delle travi (costituenti la trave continua).

16.5.2 Colonna plinto

File ▷ Colonna plinto

Verifica il nodo in funzione delle sollecitazioni, intese come tutte le azioni delle aste che concorrono nello stesso eccetto quelle delle aste alla Winkler. Il comando prevede la selezione di un certo numero di nodi in fondazione per eseguire contemporaneamente la verifica purché tutti i nodi abbiano le stesse dimensioni. In pratica basta selezionare i nodi di fondazione ignorando le aste.

16.5.3 Colonna trave

File ▷ Colonna trave

Verifica il nodo in funzione delle sollecitazioni delle travi selezionate collegate attraverso lo stesso a cui è collegato a sua volta un pilastro.

Le sollecitazioni sono per le seguenti tipologie di nodi:

- Collegamento cerniera Trave - ala pilastro
- Collegamento cerniera Trave - anima pilastro
- Collegamento Incastro Trave - pilastro
- Collegamento Incastro irrigidito Trave - pilastro

16.5.4 Asta cerniera

File ▷ Asta cerniera

Il comando prevede di selezionare una o più aste e un nodo di estremità; se si selezionano entrambi i nodi di estremità vengono generate due sollecitazioni distinte per ogni asta. La verifica del nodo vale per tutte le aste.

Il nodo è una cerniera (di una trave appoggiata alla stessa).

16.5.5 Interruzione trave

File ▷ Interruzione trave

Il comando prevede che si selezionino le aste e si fornisca il punto (nodo di continuità) in cui si vogliono le sollecitazioni; il punto è l'ascissa adimensionale lungo l'asse dell'asta.

Le sollecitazioni sono per le seguenti tipologie di nodi:

- Tubi flangiati
- Nodi di continuità

16.6 Utilità struttura

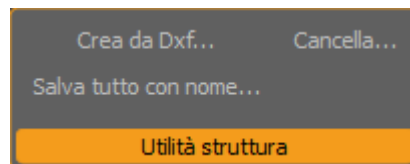



Figura 16.44 – Menu File - Utilità struttura

Comandi di utilità per operazioni relative alle strutture come importazione, cancellazione fisica e copia.

16.6.1 Crea da Dxf

File ▷ Crea da Dxf

Il comando consente di importare, all'interno dell'ambiente di **IperSpace MAX®**, un disegno in formato **DXF®** che abbia già delle caratteristiche strutturali intrinseche. Permette, cioè, di associare ad ogni layer del file sorgente una corrispondente categoria strutturale di **IperSpace MAX®**. Si presta molto bene, ad esempio, per la modellazione rapida di strutture complesse reticolari come tralicci per la distrubuzione elettrica e/o per telecomunicazioni.

16.6.2 Salva tutto con nome

File ▷ Salva tutto con nome

Permette di duplicare, con una nuova denominazione, la struttura corrente. A differenza del comando [Salva con nome], § 16.1.4 a pagina 186, copia anche le directory associate alla struttura. In tal caso, quindi, copia anche i risultati del calcolo con i relativi disegni.

Una volta invocato il comando si continuerà ad operare sulla struttura originaria, diversamente volendo operare sulla copia utilizzare il comando [Apri], § 16.1.2 a pagina 185 e caricare la struttura copiata.

16.6.3 Cancella

File ▷ Cancella

Il comando cancella completamente una struttura di **IperSpace MAX**® eliminando tutti i files e le directory correlate con la struttura stessa.

17 Menu Modifica

Qualsiasi informazione che comporti un cambiamento nel progetto sarà trasmessa al progettista dopo - e soltanto dopo - che tutti i disegni saranno stati completati.

Prima Legge delle Modifiche
ARTHUR BLOCH

Indice

Il menu *Modifica* raccoglie tutti i comandi per modificare gli oggetti strutturali (travi, pilastri, plinti, ecc.) e per effettuare operazioni globali di trasformazione (muovi, copia, ecc.).

17.1 Storia

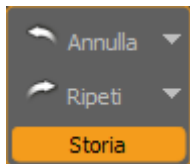



Figura 17.1 – Menu Modifica - Storia

IperSpace MAX® possiede un sistema molto potente per l'annullamento e il ripristino delle operazioni. Esso consente, di riportare l'ambiente a stati precedenti potendo annullare operazioni errate o cancellazioni non previste. Il sistema agisce pressocché su tutti i controlli dell'ambiente, non solo dunque sugli oggetti grafici ma anche sugli altri aspetti dell'interfaccia.

17.1.1 Annulla

Modifica ▷ Annulla   Ctrl + z

Permette l'annullamento dell'ultima operazione eseguita. Nel caso in cui fossero state eseguite operazioni multiple è possibile anche annullarne un intero gruppo, ripristinando lo stato voluto, aprendo il menu delle ultime operazioni attraverso la freccia in basso (▼).

17.1.2 Ripeti

 Modifica ▷ Ripeti

Consente il ripristino dell'ultimo comando annullato. Come per il comando precedente, è possibile ripristinare anche un gruppo di operazioni annullate agendo sull'icona ▼.

17.2 Azioni

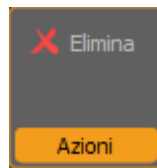



Figura 17.2 – Menu Modifica - Azioni

Comandi per eseguire operazioni dirette sugli elementi selezionati.

17.2.1 Elimina

 Modifica ▷ Elimina

Elimina gli oggetti selezionati.

 Il comando non chiede conferma in quanto è sempre possibile rispristinare lo stato precedente alla cancellazione attraverso il comando [Annulla], § 17.1.1 nella pagina precedente.

17.3 Proprietà

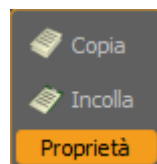



Figura 17.3 – Menu Modifica - Proprietà

Comandi per la visualizzazione, la modifica e la copia delle proprietà selezionate.

17.3.1 Copia

Modifica ▷ Copia

Copia, nella clipboard, le proprietà degli oggetti selezionati.

17.3.2 Incolla

Modifica ▷ Incolla

Incolla, dalla clipboard, le proprietà memorizzate in precedenza, sugli oggetti selezionati permettendo di filtrare, per le sole aste, anche il tipo. In tal caso, infatti, è possibile incollare solo una o più proprietà scelte tra: *Materiale*, *Criterio di verifica*, *Vincolo interno*, *Sezione*, *Rotazione*, *Filo fisso* e *Traslazione filo fisso*.

17.4 Seleziona

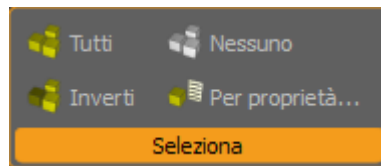



Figura 17.4 – Menu Modifica - Seleziona

Comandi per la selezione di oggetti fondamentale per discriminare solo parte di essi per eseguire operazioni mirate.

17.4.1 Tutti

Modifica ▷ Tutti

Seleziona tutti gli elementi del contesto corrente.

Se è attivo un filtro di selezione il comando seleziona tutti gli elementi rispettando i limiti del filtro.

Se ad esempio, si imposta il filtro di selezione sui soli nodi, il comando selezionerà tutti i nodi tralasciando gli elementi di altro tipo (pilastri, travi, ecc.).

17.4.2 Inverti

Modifica ▷ Inverti

Seleziona tutti gli elementi diversi dalla selezione corrente.

17.4.3 Nessuno

Modifica ▷ Nessuno

Annulla la selezione corrente.

Lo stesso risultato può essere ottenuto cliccando con il tasto sinistro del mouse in un punto della finestra grafica ove non sia presente alcun oggetto.

17.4.4 Per proprietà

Modifica ▷ Per proprietà

Seleziona gli elementi in funzione di particolari valori, imposti dall'utente, per alcune proprietà degli elementi come tipo sezione, materiale, indice, ecc. Invocando il comando comparirà il dialogo di figura 17.5 che propone, dinamicamente, le categorie delle sole entità presenti nella struttura corrente.

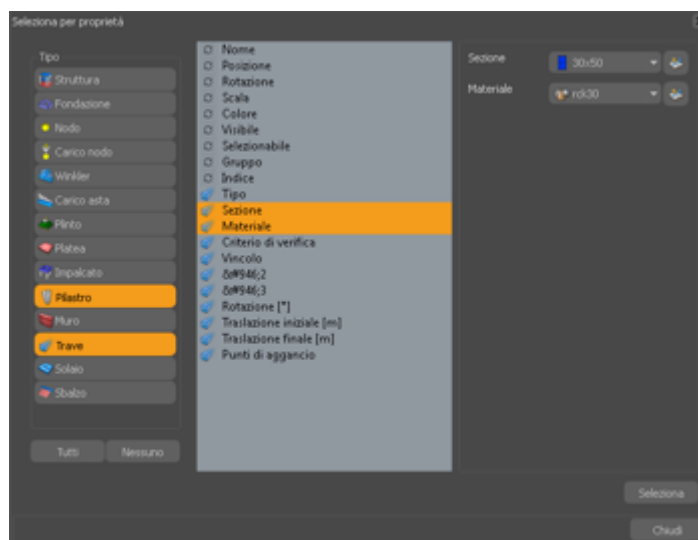



Figura 17.5 – Il dialogo per la selezione per proprietà

Selezionando una categoria, ad esempio Nodo, comparirà l'elenco di tutte le proprietà che competono a quel tipo di elemento. Ciò consente

di selezionare una o più proprietà dello stesso, specificandone un preciso valore, alfine di cercare e dunque selezionare tutti gli elementi che soddisfano quel criterio specifico.

Le proprietà appartenenti ad uno specifico elemento riportano la corrispondente icona identificativa dello stesso. Le proprietà condivise da più categorie di elementi, invece, riportano l'icona .

Per una questione di comodità, la selezione per proprietà non elimina una eventuale selezione preesistente ma si aggiunge a quella corrente.

▸ Esempio 17.1: Selezionare tutte le aste aventi stessa sezione

Volendo selezionare tutte le aste aventi una stessa sezione, ad esempio *20x20*:

1. Eseguire il comando Modifica ▷ [Per proprietà], § 17.4.4 a pagina 239
2. Selezionare come *Tipo*, Pilastro e Trave
3. Scegliere la proprietà Sezione
4. Scegliere come *Sezione* quella voluta, *20x20*, dal menu a discesa
5. Cliccare sul tasto Seleziona e successivamente sul tasto Chiudi

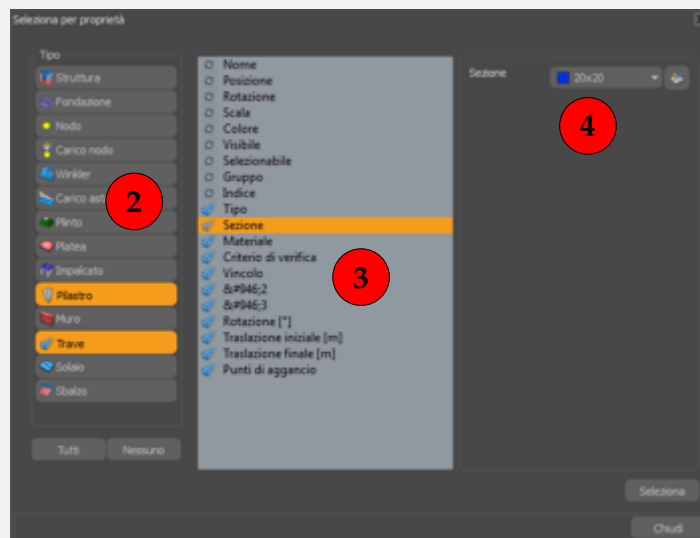



Figura 17.6 – Impostazione delle proprietà

▸ Esempio 17.2: Selezionare gli elementi di uno stesso gruppo

Volendo selezionare tutte gli elementi appartenenti ad uno stesso gruppo, ad esempio *Fondazione*:

1. Eseguire il comando Modifica ▹ [Per proprietà], § 17.4.4 a pagina 239
2. Cliccare sul tasto Tutti
3. Scegliere la proprietà Gruppo
4. Scegliere come *Gruppo* quello voluto, *Fondazione*, dal menu a discesa
5. Cliccare sul tasto Seleziona e successivamente sul tasto Chiudi

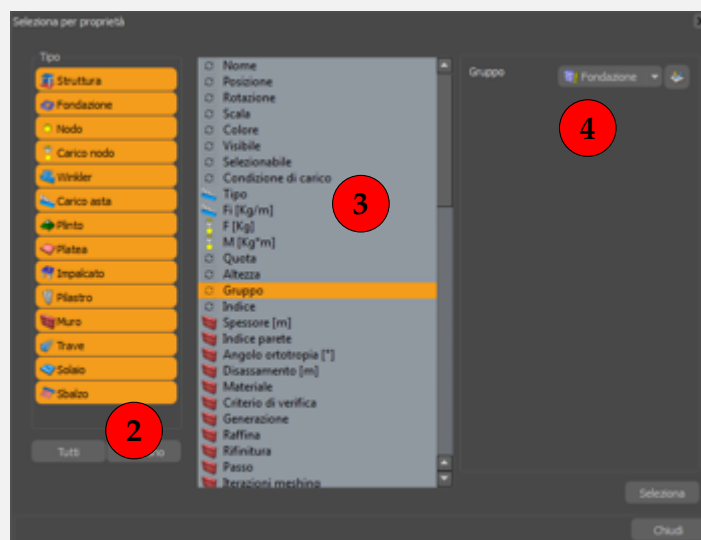



Figura 17.7 – Impostazione delle proprietà

17.5 Elementi

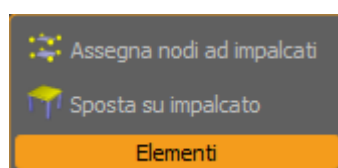



Figura 17.8 – Menu Modifica - Elementi

Comandi per la modifica degli elementi strutturali e geometrici.

17.5.1 Assegna nodi a impalcati

Modifica ⊳ Assegna nodi a impalcati

Assegna i nodi selezionati agli impalcati di calcolo esistenti permettendo di specificare uno scostamento geometrico in modo da includere anche nodi posti in un intorno delle quote degli impalcati.

Se non è selezionato alcun nodo il comando agisce su tutti i nodi della struttura.

17.5.2 Sposta su impalcato

Modifica ⊳ Sposta su impalcato

Sposta gli elementi selezionati sull'impalcato geometrico scelto dall'utente.

Il comando ha effetto sugli impalcati geometrici ma non su quelli di calcolo in quanto la proprietà impalcato di calcolo non appartiene agli elementi geometrici diversi dai nodi. Dunque qualore fossero stati generati degli impalcati geometrici sincronizzati con quelli di calcolo, questo comando non aggiornerebbe anche quest'ultimi.

17.6 Rinumera

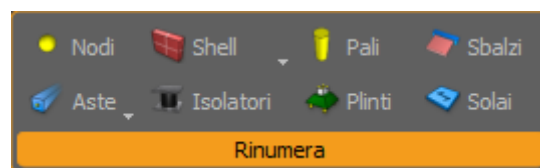



Figura 17.9 – Menu Modifica - Rinumera

Comandi di rinumerazione per gli elementi.

*I comandi che seguono si riferiscono alla numerazione degli **indici** (fem) degli elementi. Questi sono tutt'altro che coincidenti con le etichette identificative degli elementi strutturali. Gli indici sono fondamentali nella rappresentazione grafica delle armature.*

Nella quasi totalità dei casi, i comandi che seguono, agiscono sui soli elementi selezionati se esiste una selezione attiva; al contrario, nel caso di assenza di elementi selezionati, agiscono su tutti gli elementi interessati.

17.6.1 Nodi

 Modifica ⊳ Nodi

Permette operazioni di rinumerazione sui nodi. Il comando funziona sui soli nodi selezionati qualora ci fosse una selezione attiva che li contenga. Nel caso in cui non vi fossero nodi selezionati l'operazione di rinumerazione ha effetto su tutti i nodi esistenti.

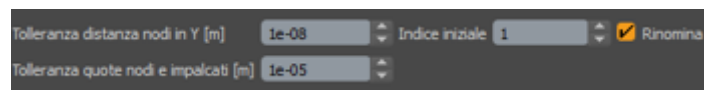



Figura 17.10 – Opzioni di rinumerazione per i nodi

Il comando rinumera i nodi, in sequenza crescente, in base alle coordinate dei nodi nel sistema di riferimento globale. Dunque, nodi che giacciono su una retta parallela all'asse x del riferimento vengono rinumerati con indice crescente a partire dal nodo con coordinata x più bassa.

Il parametro *Tolleranza distanza nodi in Y* rappresenta una deviazione, rispetto all'asse y, entro cui sarebbe possibile considerare i nodi non proprio allineati come appartenenti ad un'unica direttice ($y = cost$). Ciò permette di garantire la rinumerazione anche in presenza di nodi che non siano allineati in maniera rigorosa.

Per convezione **IperSpace MAX®** rinumera i nodi appartenenti ad un impalcato con indici $i = (100 * N + n_i)$ dove N rappresenta il numero di impalcato e n_i è il nodo *i-esimo*. In questo modo i nodi appartenenti al primo impalcato avrebbero indice $101, 102, \ldots$, quelli del secondo $201, 202, \ldots$, ecc.

Il parametro *Tolleranza quote nodi e impalcati* rappresenta un intorno, lungo l'asse z globale, entro cui nodi con quote differenti possano considerarsi appartenenti allo stesso impalcato.

Il campo *Indice iniziale* permette di definire l'indice di partenza diverso da quello predefinito. Ciò potrebbe risultare utile nel caso di rinumerazione parziale.

Come tutti i comandi di rinumerazione a seguire è sempre possibile, contestualmente alla operazione di rinumerazione, attivare anche la rinominazione (dunque relativa alle etichette) degli oggetti attivando il check Rinomina. *In questo modo indice ed etichetta dell'elemento sarebbero sincronizzati.*

17.6.2 Aste

Modifica ⊳ Aste

Permette operazioni di rinumerazione sulle aste (travi e pilastri).

17.6.2.1 Rinumera sequenziale

Modifica ⊳ Aste ⊳ Rinumera sequenziale

Il comando azzera la numerazione corrente e rinumera le aste di tutta la struttura se nessun'asta è selezionata. Se al contrario esistono delle aste selezionate il comando agisce solo su queste ultime. Ciò consente di escludere dal disegno aste particolari. La numerazione sequenziale rispetta l'ordine di inserimento delle aste interessate dal comando.

*Prima di passare all'ambiente **Carpenterie** assicurarsi di aver eseguito almeno una volta la rinumerazione delle aste in quanto il comando genera un database indispensabile ai vari comandi di disegno e disposizione armature.*

17.6.2.2 Rinumera pilastrate

Modifica ⊳ Aste ⊳ Rinumera pilastrate

Azzera la numerazione corrente e rinumera solo le pilastrate associando un indice univoco ad ogni pilastro appartenente alla stessa pilastrata. Analogamente al comando [Rinumera sequenziale], § 17.6.2.1 agisce sui soli elementi selezionati (pilastri) se esiste una selezione attiva. Al contrario agirebbe su tutti i pilastri.

17.6.2.3 Rinumera pilastrate e travate

Modifica ⊳ Aste ⊳ Rinumera pilastrate e travate

Agisce come il comando [Rinumera pilastrate], § 17.6.2.2 ma in più, per le travate, permette di specificare delle tolleranza angolari per gestire la numerazione anche in presenza di travi inclinate. Questa caratteristica è molto utile nel caso del disegno di travi a ginocchio e solette rampanti.

Il parametro *Deviazione nel piano X-Y* esprime la variazione, in gradi, entro cui le direzioni di due aste consecutive, nel piano $x - y$, possano essere considerate appartenenti alla stessa travata.

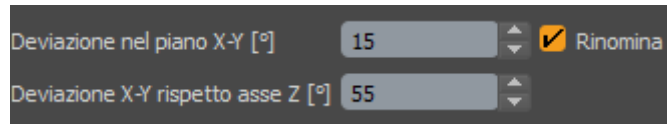



Figura 17.11 – Opzioni di rinumerazione per pilastrate e travate

Analogamente, il parametro *Deviazione X-Y rispetto all'asse Z* rappresenta la variazione angolare entro cui due travi consecutive, non complanari sul piano $x - y$, possano essere considerate appartenenti alla stessa travata. Risulta utile, nella rappresentazione delle armature, quando si desidera far rientrare nella travata orizzontale anche una trave inclinata, come nel caso della trave a ginocchio di una scala.

17.6.2.4 Azzera numerazione

Modifica ▷ Aste ▷ Azzera numerazione

Azzera la numerazione su tutte le aste (travi e pilastri) della struttura corrente qualora non vi fosse alcuna selezione attiva; altrimenti azzera gli indice delle sole aste selezionate.

17.6.3 Shell

Modifica ▷ Shell

Permette operazioni di rinumerazione sugli shell (muri verticali e platee).

17.6.3.1 Rinumera sequenziale

Modifica ▷ Shell ▷ Rinumera sequenziale

Il comando azzera la numerazione e rinumera i muri in modo sequenziale rispettando l'ordine di inserimento.

17.6.3.2 Rinumera aggregando

Modifica ▷ Shell ▷ Rinumera aggregando

Il comando assegna a tutti i muri di un determinato piano (sia orizzontale che verticale) il numero univoco di parete in modo automatico.

17.6.4 Solai

Modifica ▷ Solai

Permette la rinumerazione degli indici dei solai.

17.6.5 Plinti

Modifica ▷ Plinti

Consente la rinumerazione degli indici dei plinti permettendo di specificare anche il valore iniziale della numerazione. Questa opzione risulta utile, ad esempio, nel caso in cui si voglia rinumerare solo una parte dei plinti presenti agendo sui soli selezionati.

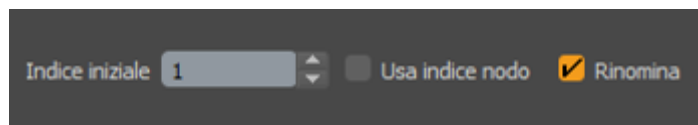



Figura 17.12 – Opzioni di rinumerazione per i plinti

L'opzione *Usa indice nodo*, se attivata, permette di associare all'indice del plinto il corrispondente indice nodale. Ne consegue la disabilitazione del campo *Indice iniziale*.

17.6.6 Pali

Modifica ▷ Pali

Consente la rinumerazione degli indici dei pali di fondazione. Analogamente con quanto detto per i plinti è possibile specificare, anche in questo caso, l'indice iniziale della rinumerazione o sincronizzare gli indici dei pali con quelli dei nodi corrispondenti.

17.6.7 Isolatori

Modifica ▷ Isolatori

Permette la rinumerazione degli indici degli isolatori sismici potendo specificare, anche in questo caso, l'indice iniziale della rinumerazione.

17.6.8 Sbalzi

Modifica ▷ Sbalzi

Permette la rinumerazione degli indici degli sbalzi in analogia con quanto visto per gli [Isolatori], § 17.6.7 nella pagina precedente.

17.7 Carichi

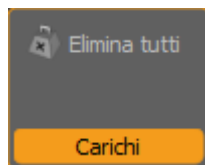



Figura 17.13 – Menu Modifica - Carichi

Comandi per la modifica dei carichi sulla struttura corrente.

17.7.1 Elimina tutti

Modifica ▷ Elimina tutti

Elimina tutti i carichi presenti sulla struttura.

Si badi bene, il comando in oggetto elimina i carichi ma non *le condizioni. Per eliminare le condizioni fare riferimento alla sezione [Condizioni di carico], § 22.3.3 a pagina 340.*

17.8 Trasforma

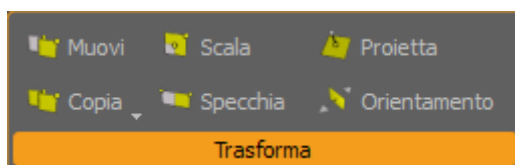



Figura 17.14 – Menu Modifica - Trasforma

Comandi di trasformazione generici, a prescindere cioè dalla natura degli oggetti selezionati.

17.8.1 Muovi

Modifica ▷ Muovi

Sposta gli elementi selezionati specificando le componenti del vettore spostamento nel riferimento dell'UCS corrente.

Per utilizzare il comando:

1. Selezionare gli elementi da spostare
2. Fissare con un click del tasto sinistro del mouse il punto origine
3. Spostare gli elementi
4. Fissare con un click del mouse il punto di destinazione

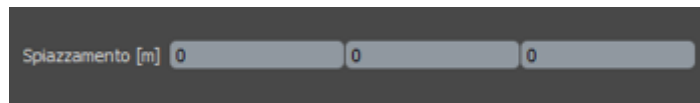



Figura 17.15 – Opzioni per lo spostamento degli elementi

In figura 17.15 è mostrato il controllo *Spiazzamento* che consente, in alternativa al metodo interattivo, di inserire in modo rigoroso le componenti relative dello spostamento.

17.8.2 Copia

Modifica ⊳ Copia

Comandi specifici per la copia degli elementi selezionati.

17.8.2.1 Copia spostando

Modifica ⊳ Copia ⊳ Copia spostando

Effettua una o più copie degli elementi selezionati specificando una traslazione secondo il sistema di riferimento corrente. Il comando gestisce, eventualmente, anche la numerazione degli indici dei nuovi elementi generati.

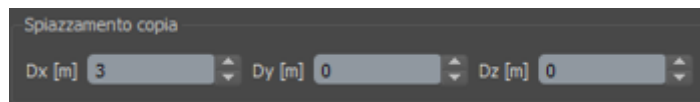



Figura 17.16 – Controlli per le componenti della traslazione

I campi di figura 17.16 consentono di specificare le componenti del vettore di spostamento a partire dalle coordinate correnti rispetto al sistema UCS di riferimento.

Il campo *N. copie*, vedi fig. 17.17 nella pagina successiva, permette di specificare il numero di copie degli oggetti selezionati.

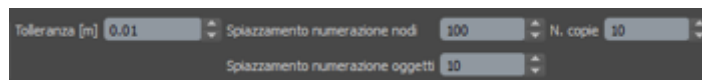



Figura 17.17 – Opzioni per la numerazione e il numero di copie

I campi *Spiazzamento numerazione nodi* e *Spiazzamento numerazione oggetti* regolano gli indici rispettivamente, dei nodi e degli oggetti, generati dal comando.

Il parametro *Tolleranza* è una dimensione lineare che consente di evitare la creazione di nodi qualora ne esistano già nell'intorno delle coordinate di arrivo, in un raggio fissato dal suo valore.

▶ Esempio 17.3: Creare una fila di pilastri

Volendo creare una fila di dieci pilastri (fig. 17.18), ad esempio lungo l'asse x, a distanza uniforme di 3 metri:

1. Eseguire [Pilastro], § 19.2.3 a pagina 268
2. Posizionare il pilastro nell'origine del riferimento, muovendosi nella finestra grafica, o in modo rigoroso inserendo da tastiera la coppia di coordinate 0␣0 (i due valori devono essere separati da uno spazio)
3. Confermare con il tasto ↵ o cliccando su
4. Selezionare il pilastro creato
5. Invocare il comando [Copia spostando], § 17.8.2.1 a pagina 249
6. Inserire nel campo *Dx* il valore 3 e nel campo *N.copie* il valore 10
7. Confermare con il tasto ↵ o cliccando su ✓

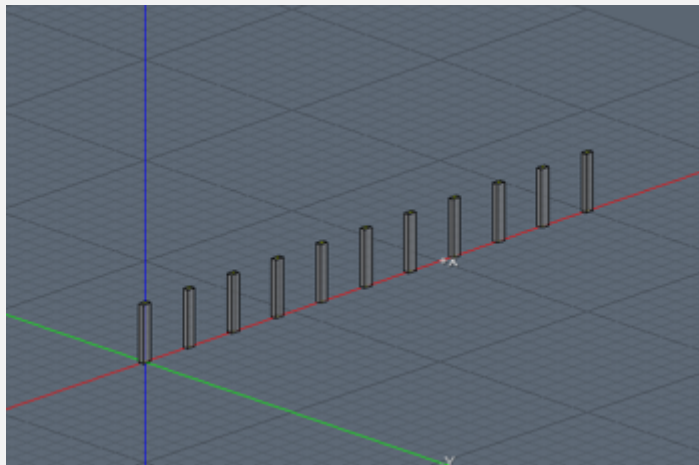
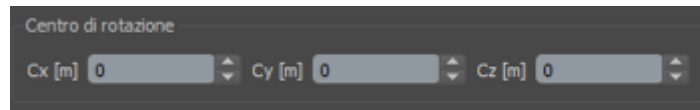
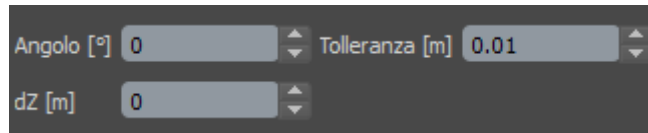



Figura 17.18 – Fila di pilastri in direzione x

17.8.2.2 Copia ruotando

 Modifica ▷ Copia ▷ Copia ruotando

Consente una o più copie degli elementi selezionati specificando un centro, un passo angolare ed un passo traslazionale in direzione z globale.

Come per il comando [Copia spostando], § 17.8.2.1 a pagina 249, prevede anche la numerazione degli indici dei nuovi elementi.

(a) Centro di rotazione

(b) Passo angolare e traslazione

(c) Numerazione degli oggetti e numero di copie

Figura 17.19 – Opzioni di copia ruotando

Copia e rotazione di un oggetto

1. Selezionare un oggetto o un gruppo di oggetti
2. Cliccare su Modifica ▷ Copia ruotando
3. Specificare un centro di rotazione cliccando con il tasto sinistro nella finestra grafica o specificando le coordinate (vedi fig. 17.19(a))
4. Inserire il passo angolare nel campo *Angolo* ed eventualmente una traslazione nella direzione z globale attraverso il controllo dZ(vedi fig. 17.19(b))
5. Specificare il numero di copie attraverso il controllo *N. copie* riportato in figura 17.19(c)
6. Cliccare su

▸ Esempio 17.4: Creare una scala elicoidale

Per creare una struttura ad elica (fig. 17.20), che si avvolge lungo l'asse z:

1. Eseguire [Trave], § 19.2.5 a pagina 272
2. Posizionare, per comodità, il primo estremo nell'origine del riferimento, con un click del mouse, o inserendo da tastiera la coppia di coordinate `0␣0` e confermando con ↵
3. Fissare l'altro estremo della trave, `1␣0`
4. Confermare con il tasto ↵ o cliccando su
5. Selezionare la trave creata
6. Invocare il comando [Copia ruotando], § 17.8.2.2 a pagina 251
7. Fissare il centro di rotazione nella finestra grafica o inserendo le coordinate nei campi preposti (vedi fig. 17.19(a) nella pagina precedente)
8. Inserire nel campo *Angolo* il valore `30` e nel campo *Dz* il valore `0.25` (vedi fig. 17.19(b) a fronte)
9. Inserire nel campo *N. copie* il valore `15`
10. Confermare con il tasto ↵ o cliccando su

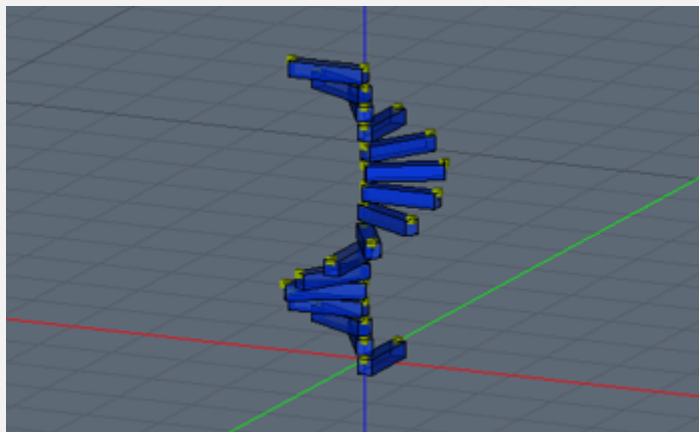



Figura 17.20 – Scala elicoidale

17.8.3 Scala

Modifica ▷ Scala

Scala gli elementi selezionati, nelle tre direzioni globali, attraverso una terna di fattori moltiplicativi. Essendo normalizzati, un valore > 1 scala con un fattore di ingrandimento percentuale e un valore < 1 scala con un fattore di riduzione percentuale.

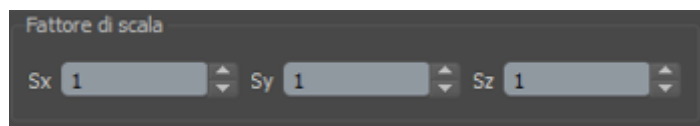



Figura 17.21 – Parametri per scalare gli oggetti

Il comando ha effetto sulle sole coordinate dei nodi e non sulla geometria solida degli elementi selezionati.

17.8.4 Specchia

Modifica ▷ Specchia

Specchia gli elementi selezionati rispetto all'asse z, definito dall'UCS corrente.

17.8.5 Proietta

Modifica ▷ Proietta

Proietta gli elementi selezionati rispetto a una direzione di proiezione definita dall'utente.

17.8.6 Orientamento

Modifica ▷ Orientamento

Comando per l'inversione dell'orientamento per gli oggetti aste e shell.

Per visualizzare l'orientamento corrente di un elemento basta selezionarlo e valutare il sistema di assi locali visualizzati.

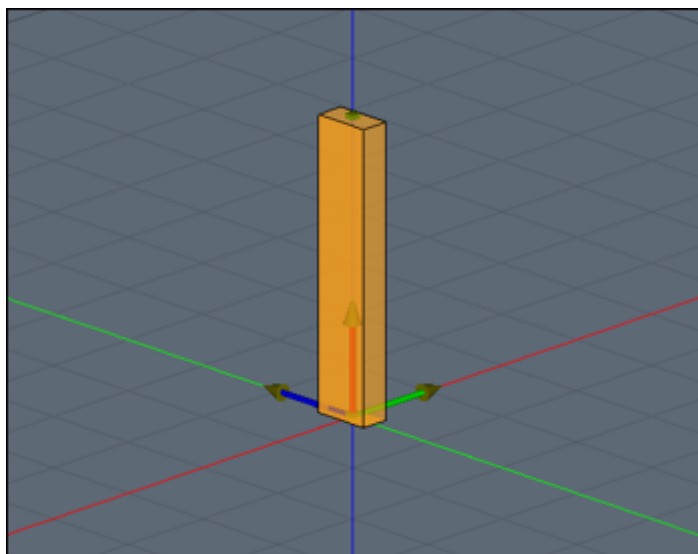
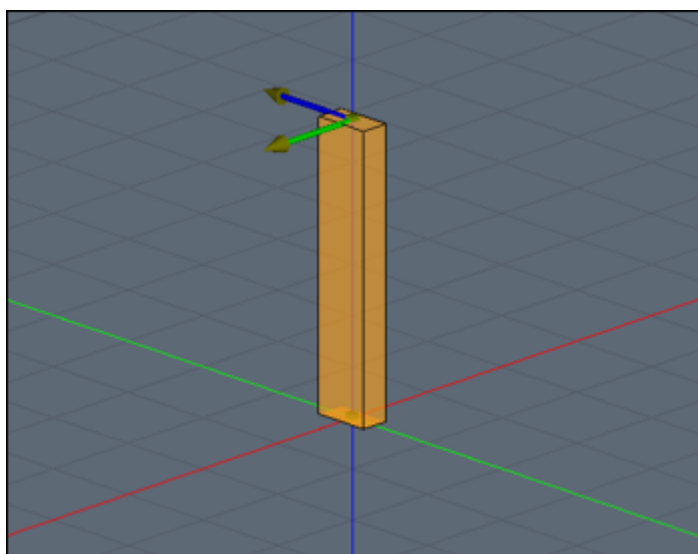
Nelle figure 17.22 è riportato un pilastro su cui è stato modificato l'orientamento.

(a) Riferimento locale di un asta

(b) Riferimento dopo il cambio di orientamento

Figura 17.22 – Modifica dell'orientamento di un'asta

18
Menu Vista

Indice

Il menu *Vista* gestisce tutti gli aspetti connessi alla visualizzazione sia dell'ambiente grafico che dell'interfaccia in genere.

18.1 Visualizza

Comandi per la visualizzazione degli oggetti. Permettono agevolmente di visualizzare tutti gli oggetti o solo quelli interessati dalla selezione corrente.

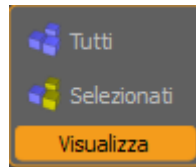



Figura 18.1 – Menu Vista - Visualizza

18.1.1 Tutti

Vista ⊳ Tutti

Mostra tutti gli elementi della struttura corrente.

18.1.2 Selezionati

Vista ⊳ Selezionati

Mostra i soli elementi appartenenti alla selezione corrente.

18.2 Nascondi

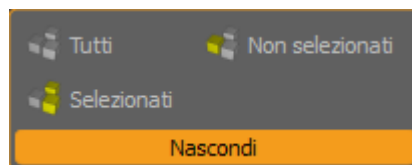



Figura 18.2 – Menu Vista - Nascondi

Consentono, al contrario del gruppo [Visualizza], § 18.1 nella pagina precedente, di nascondere tutti gli oggetti, solo quelli interessati dalla selezione corrente o quelli non contenuti nella selezione.

18.2.1 Tutti

Vista ⊳ Tutti

Nasconde tutti gli elementi della struttura corrente.

18.2.2 Selezionati

Vista ⊳ Selezionati

Nasconde i soli elementi appartenenti alla selezione corrente.

18.2.3 Non selezionati

Vista ▷ Non selezionati

Nasconde gli elementi non appartenenti alla selezione corrente.

18.3 Tavolozze

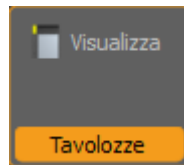



Figura 18.3 – Menu Vista - Tavolozze

Raccoglie scorciatoie dirette verso gruppi di comandi contenuti nel gruppo di tavolozze a sinistra della finestra grafica. Per approfondimento fare riferimento al capitolo [Tavolozze], § 22 a pagina 309.

18.3.1 Visualizza

Vista ▷ Visualizza

Apre la lista delle tavolozze disponibili nell'interfaccia.

18.4 Box di taglio

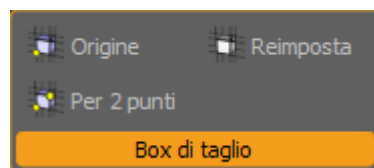



Figura 18.4 – Menu Vista - Box

Comandi per la gestione di box di taglio. Il box permette di isolare parte della geometria strutturale per rendere più agevole la modellazione e la modifica di elementi ubicati in posizioni di difficile raggiungimento.

18.4.1 Origine

Vista ▷ Origine

Imposta un box di taglio costituito da un volume il cui baricentro coincide con il punto di selezione.

18.4.2 Per 2 punti

Vista ▷ Per 2 punti

Imposta un box di taglio costituito da un volume la cui diagonale è definita da due punti di selezione.

18.4.3 Reimposta

Vista ▷ Reimposta

Reimposta la visualizzazione originaria eliminando il box corrente.

18.5 Piani di lavoro

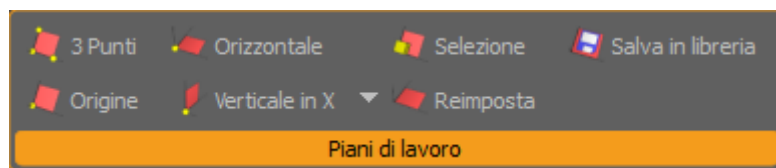



Figura 18.5 – Menu Vista - UCS

Comandi per la gestione dei sistemi di riferimento utente UCS (*User Coordinate System*).

18.5.1 3 Punti

Vista ▷ 3 Punti

Imposta un piano di lavoro passante per tre punti. Viene definito fissando l'origine e le direzioni degli assi x e y.

18.5.2 Origine

Vista ▷ Origine

Imposta un piano di lavoro parallelo al piano corrente avente origine in un punto dato. In questo caso, dunque, le direzioni degli assi x e y rimangono invariate.

18.5.3 Orizzontale

Vista ▷ Orizzontale

Imposta un piano di lavoro orizzontale rispetto al sistema di riferimento globale.

18.5.4 Verticale in X

Vista ▷ Verticale in X

Imposta un piano di lavoro verticale parallelo all'asse x globale.

18.5.5 Verticale in Y

Vista ▷ Verticale in Y

Imposta un piano di lavoro verticale parallelo all'asse y globale.

18.5.6 Selezione

Vista ▷ Selezione

Imposta un piano di lavoro coincidente con il riferimento locale della selezione corrente.

18.5.7 Reimposta

Vista ▷ Reimposta

Reimposta il riferimento globale predefinito per la vista corrente.

18.5.8 Salva in libreria

Vista ▷ Salva in libreria

Permette il salvataggio del piano di lavoro corrente assegnandogli un nome identificativo. Una volta salvato, il piano di lavoro personalizzato, sarà disponibile nella libreria [Piani di lavoro], § 22.5.4 a pagina 373.

19 Menu Crea

L'uomo è nato per creare. La vocazione umana è di immaginare, inventare, osare nuove imprese.

MICHAEL NOVAK

Indice

Il menu *Crea* raccoglie i comandi per l'inserimento degli oggetti strutturali (travi, pilastri, plinti, ecc.), per la generazione di strutture parametriche e per l'inserimento dei carichi. È organizzato in più sezioni che raccolgono comandi per l'inserimento di elementi di tipo geometrico, strutturale e di strutture complesse come serbatoi, capriate, cupole. Inoltre include i comandi per la creazione dei carichi.

19.1 Geometrici

Figura 19.1 – Menu Crea - Geometrici

Comandi per la creazione di entità prettamente geometriche come impalcati e fondazioni.

19.1.1 Impalcato

Crea ▷ Impalcato

Inserimento di un impalcato

Permette l'inserimento di piani di impalcato e/o di fondazione.

1. Cliccare su Crea ▷ Impalcato

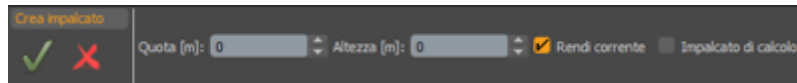



Figura 19.2 – Parametri per la creazione dell'impalcato

2. Inserire la *Quota* e l'*Altezza* del piano
3. Abilitare, opzionalmente, il check *Impalcato di calcolo* per generare contestualmente a quello geometrico un corrispondente impalcato di calcolo
4. Cliccare su

Nel navigatore sarà visualizzato il piano appena creato come mostrato in figura 19.3.

Figura 19.3 – Un piano di fondazione nel navigatore

Qualora non esistano impalcati, al primo inserimento, verrà inserito sempre un piano di fondazione. Gli inserimenti successivi costituiranno gli impalcati in elevazione.

È bene distinguere questo tipo di impalcato (geometrico) da quello di calcolo. Gli [Impalcati geometrici], § 22.2.1.6 a pagina 320 rappresentano un modo per organizzare gli elementi appartenenti allo stesso piano e risultano comodi nella modellazione di strutture regolari dove è possibile riconoscere piani a diversa quota. Gli [Impalcati di calcolo], § 22.2.1.5 a pagina 319, invece, interessano i soli nodi della struttura ed entrano in gioco nella determinazione delle masse e nella deformabilità/rigidità dei piani.

19.1.2 Primitive

Crea ⊳ Primitive

Rappresenta un gruppo di comandi che raccoglie primitive grafiche che potrebbero agevolare le operazioni di modellazione. In alcuni casi, infatti, risulta utile creare punti, linee o poligoni come supporto alle operazioni di inserimento laddove siano necessari posizionamenti precisi.

19.1.2.1 Punto

Crea ⊳ Punto

Inserisce un punto come primitiva grafica nel piano corrente.

19.1.2.2 Linea

Crea ⊳ Linea

Inserisce una linea come primitiva grafica nel piano corrente.

19.1.2.3 Poligono

Crea ⊳ Poligono

Inserisce una spezzata di linee come primitiva grafica potendone specificare l'eventuale chiusura automatica o meno.

19.2 Strutturali

Figura 19.4 – Menu Crea - Strutturali

Comandi di creazione di elementi strutturali semplici (nodi, travi, pilastri, ecc.).

Molti dei comandi di creazione mostrano, sulla [Barra di controllo], § 15.4.3 a pagina 161, il check Ripeti. *Attivandolo si ha la possibilità di ripetere il comando di inserimento corrente senza doverlo invocare nuovamente.*

Per confermare cliccare su ✓ *(o premere il tasto* ↵ *);*

per annullare cliccare, invece, su ✗ .

19.2.1 Nodo

Crea ▷ Nodo

Permette l'inserimento di un nodo strutturale.

Inserimento di un nodo

1. Cliccare su Crea ▷ Nodo

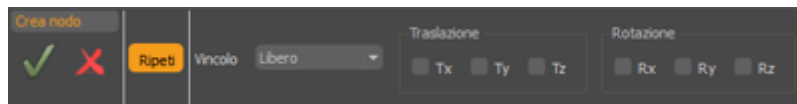



Figura 19.5 – Controlli per l'inserimento del nodo

2. Eventualmente scegliere il *Vincolo* esterno del nodo come mostrato in figura 19.5
3. Muovere il mouse, nella finestra grafica, sulla posizione voluta
4. Cliccare con il tasto sinistro del mouse

Nel caso di inserimento multiplo di nodi con posizioni ben definite è consigliabile usare il comando [Maglia nodale], § 19.2.2.

19.2.2 Maglia nodale

Crea ▷ Maglia nodale

Permette di costruire una maglia di nodi attraverso una tabella dinamica che consente l'inserimento delle coordinate. Risulta molto utile, ad esempio, quando si ha la necessità di inserire i nodi di una pianta di carpenteria in posizioni rigorose.

Inserimento di una maglia nodale

1. Cliccare su Crea ▷ Maglia nodale

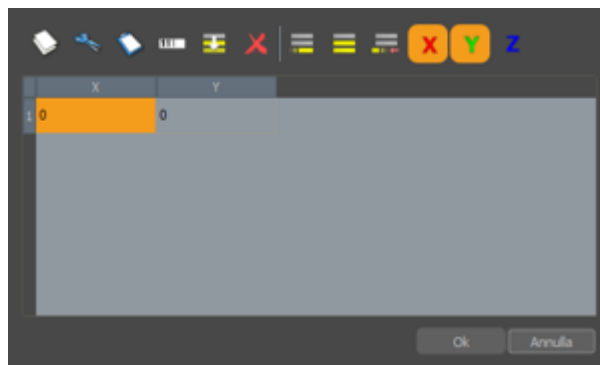



Figura 19.6 – Dialogo per l'inserimento delle coordinate dei nodi

2. Inserire le coordinate dei nodi
3. Cliccare su Ok per confermare

Agendo sul tasto destro del mouse si attiva un menu contestuale che consente di effettuare delle operazioni sulle celle della tabella di inserimento.

19.2.3 Pilastro

Crea ▷ Pilastro

Inserimento di un pilastro

Permette l'inserimento di un pilastro verticale.

1. Cliccare su Crea ▷ Pilastro
2. Eventualmente scegliere e/o modificare i parametri di inserimento come *Sezione*, filo fisso:

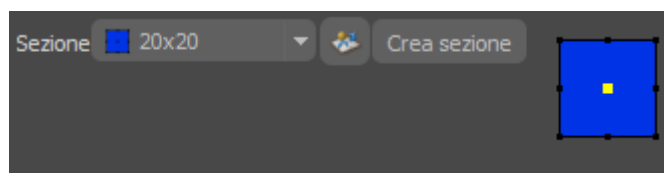



Figura 19.7 – Parametri principali del pilastro

o *Vincolo* interno, *Materiale*, *Criterio di verifica* e *Altezza*:

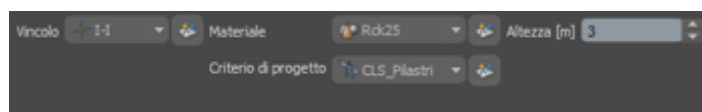



Figura 19.8 – ...altri parametri

3. Muovere il mouse, nella finestra grafica, sulla posizione voluta
4. Cliccare con il tasto sinistro del mouse per inserire il pilastro

Il filo fisso si sceglie cliccando sul punto corrispondente nell'anteprima della sezione del pilastro ma, oltre a poter essere cambiato dinamicamente durante l'inserimento dell'oggetto, può venire modificato, senza lasciare la finestra grafica, premendo ripetutamente il tasto f *o i tasti* Ctrl + 0 - 9 *(come mostrato in figura 19.9).*

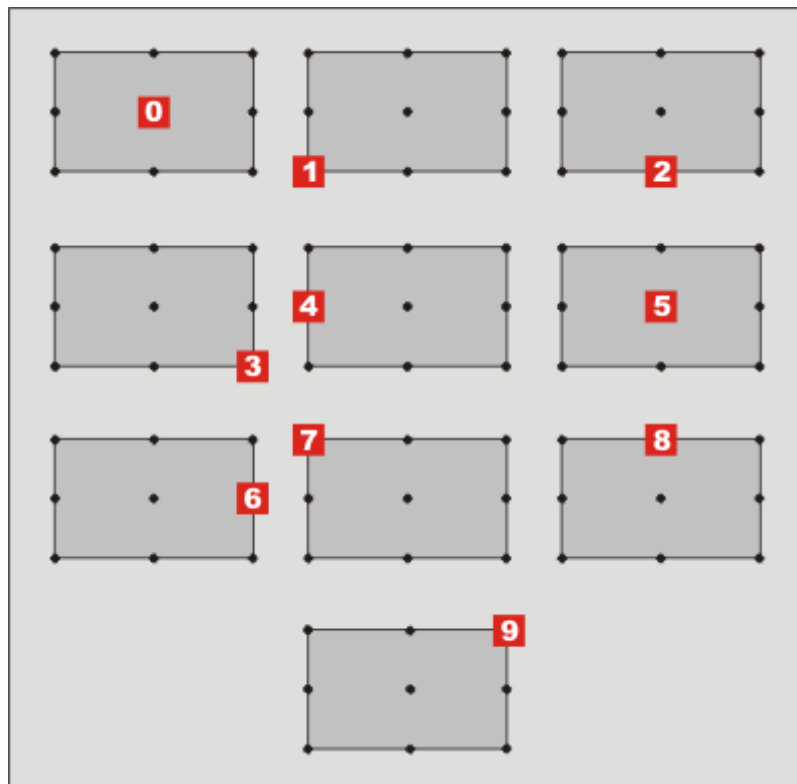



Figura 19.9 – Fili fissi per una sezione rettangolare

1. *Per una sezione rettangolare i fili fissi 0 e 5 sono coincidenti.*
2. *Durante l'inserimento, nella vista grafica, è sempre possibile ruotare una sezione, rispetto al filo fisso, premendo il tasto* [r] *.*
3. *Qualora non fosse disponibile una sezione particolare è sempre possibile, cliccando sull'icona* , *passare alla libreria delle sezioni e crearne una parametrica oppure agendo sul tasto* Crea sezione *è possibile crearne una "al volo" definendone la sua diagonale con due click del tasto sinistro mouse.*

Inserimento di un pilastro per due punti

Immaginando di avere a disposizione una pianta con gli ingombri dei pilastri, come in figura 19.10, e di non possedere in libreria sezioni quella con le dimensioni richieste, si può operare come segue:

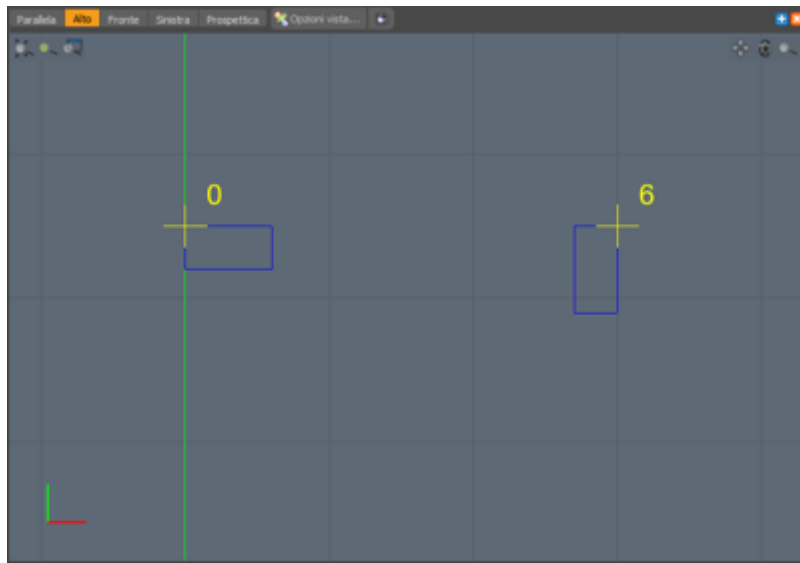



Figura 19.10 – Esempio di pianta dxf con pilastri

1. Cliccare su Crea ⊳ Pilastro
2. Cliccare sul tasto Crea sezione
3. Portarsi su un vertice della frontiera del pilastro e fissare con un click del mouse il primo punto, come indicato in figura 19.11(a) a fronte
4. Muoversi verso il vertice opposto (figura 19.11(b) nella pagina successiva)

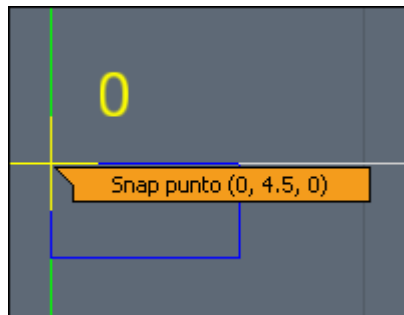
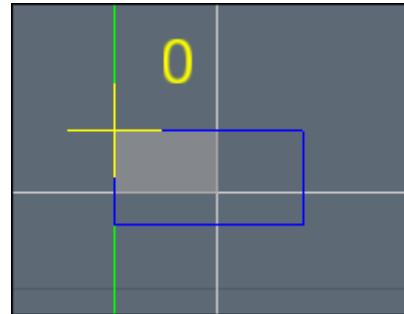
5. Cliccare con il tasto sinistro del mouse sul vertice opposto per fissare la sezione, come indicato in figura 19.11(c)

(a) Primo punto sulla sezione (b) Variazione dinamica della sezione

(c) Secondo punto sulla sezione

Figura 19.11 – Creazione di una sezione per due punti

In questo modo viene creata, in automatico, la nuova sezione che viene inclusa nella libreria delle sezioni di **IperSpace MAX**® con un'etichetta che identifica le sue dimensioni (in metri).

19.2.4 Pilastrata

 Crea ▷ Pilastrata

Permette l'inserimento di una pilastrata sull'impalcato corrente, o su tutti, a partire dai nodi di estremità.

Inserimento di una pilastrata

1. Selezionare i nodi di estremità
2. Cliccare su Crea ▷ Pilastrata
3. Scegliere i *Livelli* su cui generare la pilastrata
4. Cliccare su

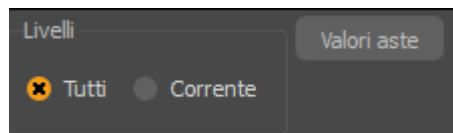



Figura 19.12 – Parametri per la creazione della pilastrata

19.2.5 Trave

Crea ▷ Trave

Inserimento di una trave

Permette l'inserimento di una trave.

1. Cliccare su Crea ▷ Trave
2. Eventualmente scegliere e/o modificare i parametri di inserimento come *Tipo*, *Sezione* e filo fisso:

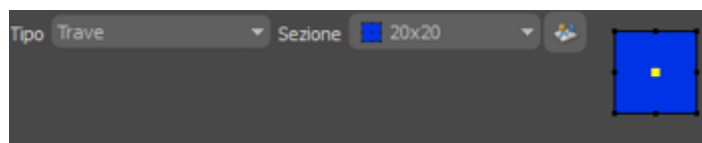



Figura 19.13 – Parametri principali della trave

o *Vincolo* interno, *Materiale* e *Criterio di verifica*:

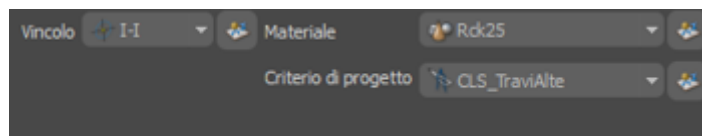



Figura 19.14 – ...altri parametri

3. Cliccare con il tasto sinistro del mouse per definire gli estremi della trave

*Si può notare che per le travi di tipo Winkler va definita anche una tipologia di terreno **IperSpace MAX®**, infatti, permette di assegnare una costante di Winkler diversa per ogni trave di fondazione, per ogni plinto e per ogni platea.*

19.2.6 Orditura travi

Crea ▷ Orditura travi

Consente l'inserimento di una maglia di travi a partire da un insieme di nodi.

Inserimento di una orditura di travi

1. Selezionare la maglia di nodi
2. Cliccare su Crea ▷ Orditura di travi
3. Scegliere la direzione di generazione delle aste, parallela agli assi globali:

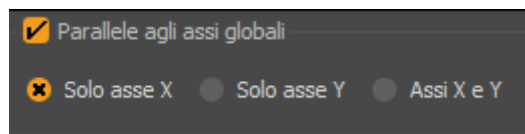



Figura 19.15 – Direzioni parallele agli assi globali

o inclinata, rispetto all'asse globale X, di un angolo dato:

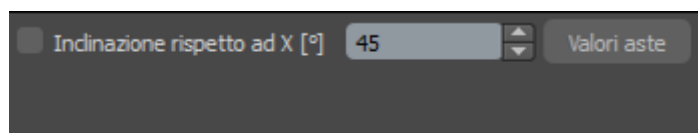



Figura 19.16 – Direzione inclinata di un angolo dato

4. Eventualmente definire i parametri delle travi da generare cliccando su Valori aste:

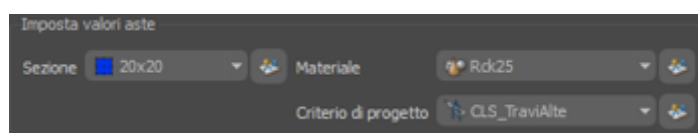



Figura 19.17 – Valori delle aste

5. Cliccare su

19.2.7 Muro

Crea ⊳ Muro

Inserimento di un muro

Inserisce un muro verticale di tipo rettangolare.

1. Cliccare su Crea ⊳ Muro
2. Scegliere il *Tipo* (di discretizzazione) e lo *Spessore* del muro:

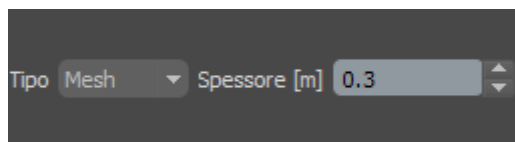



Figura 19.18 – Spessore e tipologia del muro

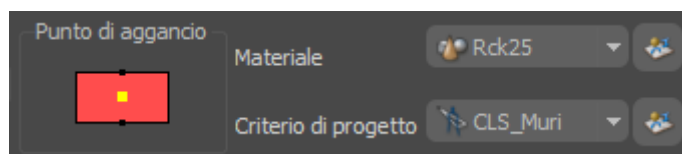
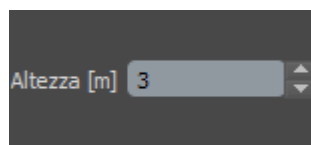
3. Scegliere il punto di aggancio ed eventualmente altri parametri come il *Materiale*, il *Criterio di verifica* e l'*Altezza*:

(a) Punto di aggancio ed altri parametri

(b) Altezza del muro

Figura 19.19 – Parametri del muro

4. Portarsi nella finestra grafica e fissare i punti estremi, al piede, del muro con due click del tasto sinistro del mouse
5. Cliccare su

Se si sceglie il tipo di discretizzazione a Pannelli nei parametri del muro sono presenti due grandezze aggiuntive, come mostrato in figura a lato, che definiscono la suddivisione del muro nelle due direzioni x e y locali.

Figura 19.20 – Muro verticale - Suddivisione in pannelli

Nel caso in cui il muro sia a contatto con platee, o piastre, per garantirne la congruenza è necessaria una discretizzazione con numero di elementi ***pari****.*

Se si sceglie il tipo a Mesh, prima del calcolo, è necessario discretizzare il dominio del muro. Per fare questo:

1. Selezionare il muro (o i muri nel caso di gruppi)
2. Portarsi nel [Gestore delle proprietà], § 15.4.6 a pagina 173
3. Scegliere la sezione *Mesh* come mostrato in figura 19.21

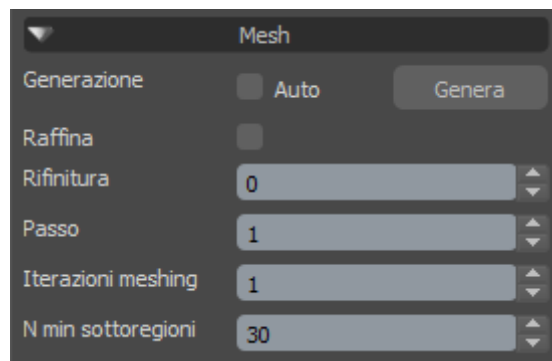



Figura 19.21 – Sezione *Mesh* delle proprietà del muro

4. Cliccare sul tasto Genera

19.2.8 Shell poligonale

Crea ▷ Shell poligonale

Inserisce un muro di tipo poligonale (quadrangolare) sull'UCS corrente. Questo tipo di muro, a differenza del [Muro], § 19.2.7 nella pagina precedente, può essere comunque inclinato; inoltre può assumere forme più generiche del primo poiché è individuato da quattro vertici comunque definiti.

Inserimento di uno shell poligonale

1. Cliccare su Crea ▷ Shell poligonale
2. Scegliere i parametri, analogamente al comando [Muro], § 19.2.7 a pagina 274
3. Eventualmente modificare l'UCS corrente per definire il piano del muro
4. Portarsi nella finestra grafica e fissare i vertici del muro con quattro click del tasto sinistro del mouse
5. Cliccare su

19.2.9 Platea

 Crea ▷ Platea

Inserimento di una platea

Inserisce una platea orizzontale definendo i vertici del poligono.

1. Cliccare su Crea ▷ Platea
2. Scegliere lo spessore e eventualmente altri parametri:

Figura 19.22 – Spessore e altri parametri

3. Portarsi nella finestra grafica e fissare i punti dei vertici della platea con un click del tasto sinistro del mouse
4. Cliccare su

L'elemento platea, come lo [Shell poligonale], § 19.2.8 nella pagina precedente, o il [Muro], § 19.2.7 a pagina 274 a mesh, necessitano di essere discretizzati prima di passare alla fase di calcolo, dunque devono essere selezionati e dal Gestore delle proprietà cliccare sul tasto Genera*. Il risultato di questa operazione è meglio visibile se, nelle [Opzioni della vista], § 15.4.5.3 a pagina 167, si attiva il layer* FEM *e si disabilita quello* Solido.

19.2.10 Solaio

Crea ▷ Solaio

Inserimento di un solaio

Il comando inserisce un solaio in automatico senza specificare, punto per punto, i vertici dello stesso. Risulta molto utile se si hanno già a disposizione le travi di bordo.

1. Selezionare le travi di bordo
2. Cliccare su Crea ▷ Solaio
3. Scegliere la tipologia del solaio e l'angolo di orditura:

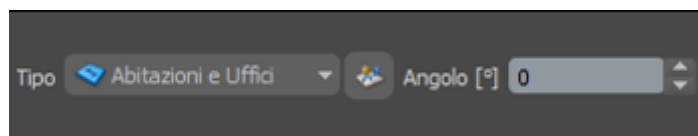



Figura 19.23 – Tipologia e orditura del solaio

4. Cliccare su

19.2.11 Plinto

Crea ▷ Plinto

Inserimento di un plinto

Inserisce un plinto di fondazione.

1. Cliccare su Crea ▷ Plinto
2. Scegliere la tipologia del plinto e altre caratteristiche come quelle del terreno sottostante, ecc.:

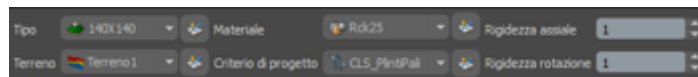



Figura 19.24 – Tipologia e caratteristiche del plinto

3. Portarsi nella finestra grafica e fissare il nodo del plinto con un click del tasto sinistro del mouse
4. Cliccare su

I nodi relativi ai plinti su pali devono essere liberi, a differenza di quelli dei plinti superficiali che devono essere vincolati alla Winkler. Il plinto a bicchiere se è superficiale avrà il nodo vincolato alla Winkler; se si trova su pali deve avere il nodo libero.

19.2.12 Plinto sui nodi selezionati

Crea ⊳ Plinto sui nodi selezionati

Inserimento di un plinto sui nodi selezionati

Inserisce un plinto sui nodi selezionati.

1. Selezionare i nodi
2. Cliccare su Crea ⊳ Plinto sui nodi selezionati
3. Scegliere la tipologia del plinto e altre caratteristiche come quelle del terreno sottostante, ecc.:

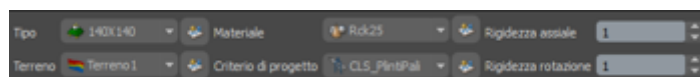



Figura 19.25 – Tipologia e caratteristiche del plinto

4. Cliccare su

19.2.13 Palo

Crea ⊳ Palo

Inserimento di un palo

Inserisce un palo di fondazione.

1. Cliccare su Crea ⊳ Palo
2. Scegliere la tipologia del palo e altre caratteristiche come quelle del terreno sottostante, ecc.:

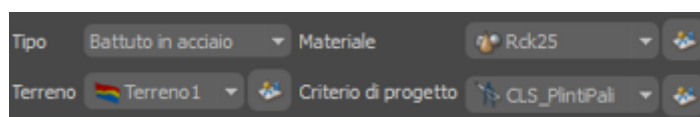



Figura 19.26 – Tipologia e caratteristiche del palo

Figura 19.27 – Caratteristiche geometriche del palo

3. Eventualmente modificare le caratteristiche geometriche come altezza, diametro, ecc.:
4. Portarsi nella finestra grafica e fissare il nodo del palo con un click del tasto sinistro del mouse
5. Cliccare su

19.2.14 Palo sui nodi selezionati

 Crea ▷ Palo sui nodi selezionati

Inserimento di un palo sui nodi selezionati

Inserisce un palo sui nodi selezionati.

1. Selezionare i nodi
2. Cliccare su Crea ▷ Palo sui nodi selezionati
3. Scegliere la tipologia del palo e altre caratteristiche come quelle del terreno sottostante, ecc.:

Figura 19.28 – Tipologia e caratteristiche del palo

4. Eventualmente modificare le caratteristiche geometriche come altezza, diametro, ecc.:

Figura 19.29 – Caratteristiche geometriche del palo

5. Cliccare su

19.2.15 Isolatore

 Crea ⊳ Isolatore

Inserimento di un isolatore

Inserisce un isolatore sismico tra due punti.

1. Cliccare su Crea ⊳ Isolatore
2. Scegliere la tipologia dell'isolatore e altre opzioni:

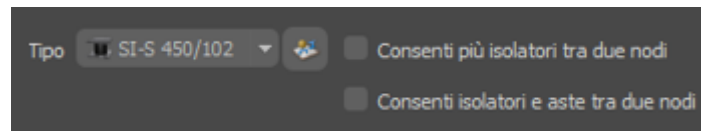



Figura 19.30 – Tipologia e opzioni dell'isolatore

3. Portarsi nella finestra grafica e fissare gli estremi dell'isolatore con due click del tasto sinistro del mouse
4. Cliccare su

19.2.16 Isolatore sui selezionati

 Crea ⊳ Isolatore sui selezionati

Inserimento di un isolatore sui selezionati

Inserisce un isolatore sismico in testa ai pilastri selezionati.

1. Selezionare i pilastri su cui inserire gli isolatori
2. Cliccare su Crea ⊳ Isolatore sui selezionati
3. Scegliere la tipologia dell'isolatore, la sua altezza, ed eventualmente altre opzioni:

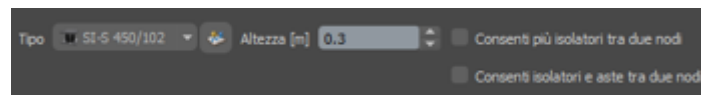



Figura 19.31 – Tipologia e opzioni dell'isolatore

4. Cliccare su

19.2.17 Link rigido

Crea ▷ Link rigido

Inserimento di un link rigido

Inserisce un link rigido tra due punti dati.

1. Cliccare su Crea ▷ Link rigido
2. Scegliere la tipologia di vincolo del collegamento:

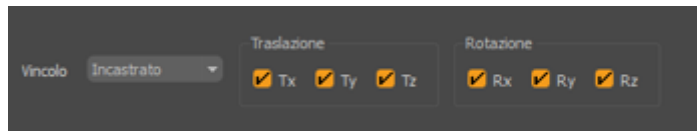



Figura 19.32 – Proprietà del link rigido

3. Definire, con due click del mouse, i punti tra cui va inserito il link
4. Confermare su

Il vincolo è relativo solo al nodo iniziale dunque il vincolo del nodo finale è rappresentato sempre da un incastro.

19.2.18 Sbalzo

Crea ▷ Sbalzo

Inserimento di uno sbalzo

Inserisce uno sbalzo (balcone) sulle travi.

1. Cliccare su Crea ▷ Sbalzo
2. Scegliere il tipo di solaio, le ascisse normalizzate di inizio e fine sbalzo, il punto di aggancio rispetto alla trave, ed eventualmente altre opzioni:

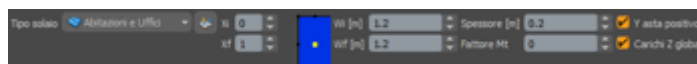



Figura 19.33 – Parametri per lo sbalzo

3. Selezionare le travi su cui va inserito lo sbalzo
4. Cliccare su

19.3 Armature

Figura 19.34 – Menu Crea - Armature

Comandi per l'inserimento di armature per gli elementi strutturali di tipo asta (pilastri, travi).

19.3.1 Armatura

Crea ⊳ Armatura

Inserimento di un'armatura

Inserisce un'armatura esistente su una o più aste selezionate.

1. Selezionare le aste in cui vanno inserite le armature
2. Cliccare su Crea ⊳ Armatura
3. Scegliere il numero di divisioni longitudinali delle aste:

Figura 19.35 – Parametri per la creazione dell'armatura

4. Cliccando sul tasto Valori armature si aprirà il dialogo di figura 19.36 a fronte per specificare le proprietà dei diversi tronchi di armatura.

   Attraverso le icone e è possibile aggiungere o rimuovere le suddivisioni delle aste.

   Selezionando uno o più tronchi possono essere modificate le seguenti proprietà:

   Lunghezza: specifica la lunghezza del tronco in valore percentuale rispetto alla lunghezza dell'asta

   Sezione armata: permette di specificare la sezione del tronco dalla libreria [Sezioni armate], § 22.4.1 a pagina 357

   Passo delle staffe: indica, in metri, la distanza tra le staffe per il tronco selezionato

Diametro staffe: specifica il diametro, in millimetri, dei ferri di staffa per il tronco selezionato

5. Cliccare sul tasto Chiudi per chiudere il dialogo

6. Cliccare su ✓

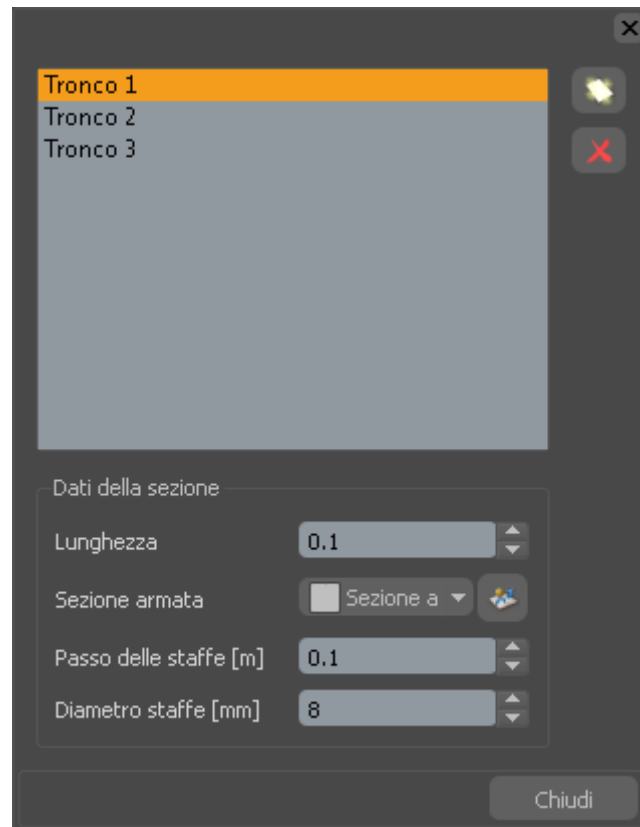



Figura 19.36 – Proprietà delle divisioni di armatura

19.4 Parametrici

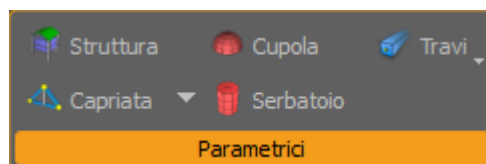



Figura 19.37 – Menu Crea - Parametrici

Comandi per la generazione dinamica di strutture parametriche come cupole, capriate, serbatoi, scale, ecc. A differenza degli oggetti [Strutturali], § 19.2 a pagina 266 semplici, i comandi a seguire consentono di

disegnare in maniera semplice e rapida costruzioni, costituite dai primi, caratterizzate da parametri specifici. Ciò che le rende singolari è che, una volta disegnate, consentono di essere modificate intervenendo sui soli parametri originari senza la necessità di rimodellare l'intera struttura.

19.4.1 Struttura

Crea ▷ Struttura

Crea in modo rapido e dinamico una struttura tipo ad impalcati. È utile per creare con pochi click del mouse strutture anche complesse ma di una certa regolarità; successivamente è possibile intervenire per apportare le modifiche del caso.

Creazione di una struttura automatica

1. Cliccare su Crea ▷ Struttura
2. Scegliere il *Tipo di struttura* in base agli elementi che si intendono creare, il *Numero di piani* e le proprietà degli elementi da generare (vedi fig. 19.38)

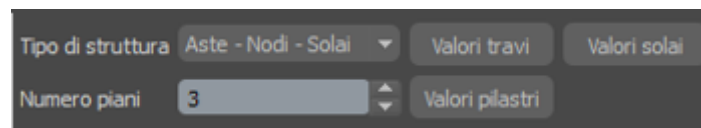



Figura 19.38 – Parametri della struttura automatica

3. Scegliere la tipologia di fondazione tra *Travi di fondazione*, *Plinti* e *Platee di fondazione*; eventualmente definire le proprietà di tali elementi attraverso il tasto Valori (vedi fig. 19.39)
4. Caratterizzare le altre proprietà come l'*Altezza piano* (vedi fig. 19.39)

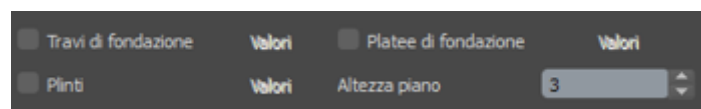



Figura 19.39 – Parametri della struttura automatica

5. Muovere il mouse, nella finestra grafica, sulla posizione voluta per il primo estremo della struttura e cliccare con il tasto sinistro del mouse per fissarlo
6. Muovere il mouse, in direzione x o y dell'UCS corrente, per variare la luce della campata in tale direzione e fissare il secondo punto (vedi fig. 19.40 a fronte)
7. Muovere il mouse in direzione ortogonale rispetto a quanto fatto al punto 6, per variare la luce della campata nella direzione corrispondente e fissare l'estremo (vedi fig. 19.41)

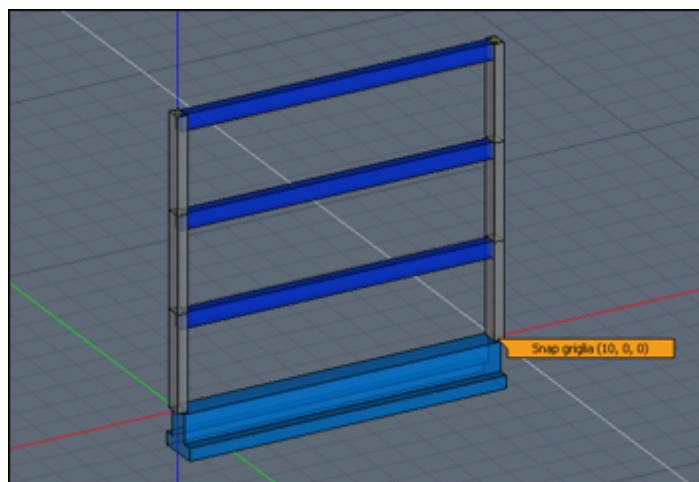



Figura 19.40 – Campata in una direzione

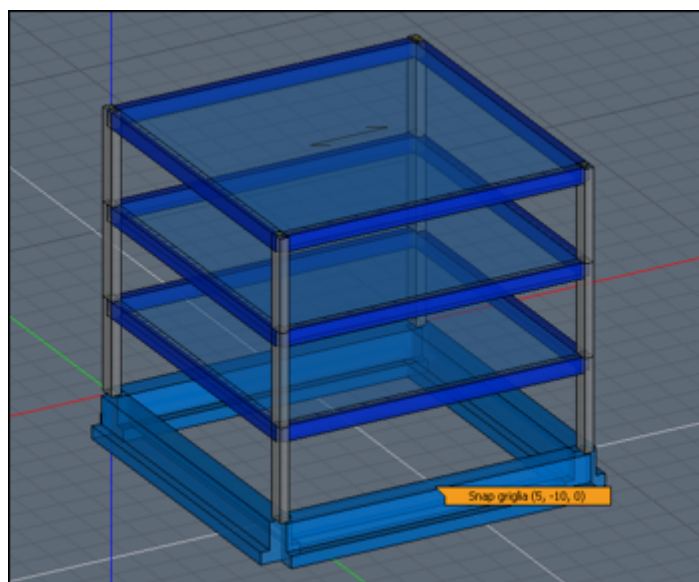



Figura 19.41 – Campata in direzione ortogonale

8. Ripetere i punti 6 e 7 per aggiungere campate nelle due direzioni (vedi fig. 19.42 nella pagina seguente)

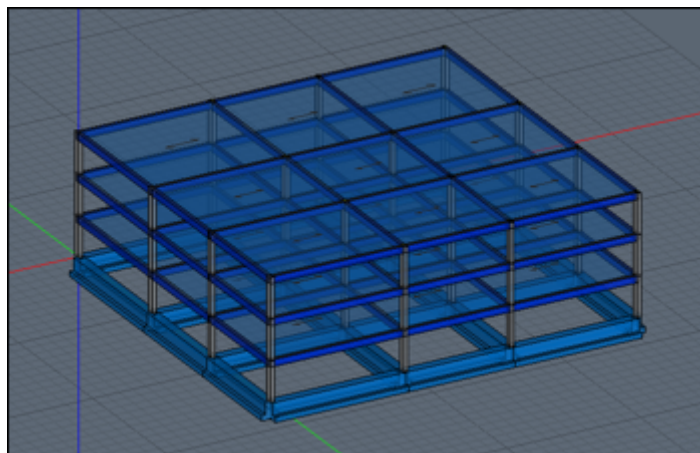



Figura 19.42 – Aggiunta di campate in entrambe le direzioni

9. Cliccare su per concludere

19.4.2 Capriata

Crea ⊳ Capriata

Inserimento di una capriata

Permette la creazione interattiva di una capriata parametrica.

1. Cliccare su Crea ⊳ Capriata
2. Scegliere i parametri caratteristici della capriata come tipo, altezza e divisioni della falda:

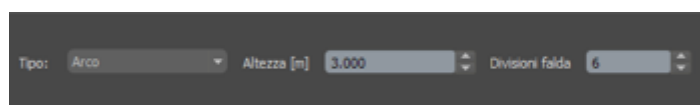



Figura 19.43 – Parametri della capriata

3. Muovere il mouse, nella finestra grafica, sulla posizione voluta per il primo estremo della capriata e cliccare con il tasto sinistro del mouse per fissarlo
4. Muovere il mouse per variare la luce
5. Cliccare con il tasto sinistro del mouse per fissare il secondo estremo (vedi fig. 19.44 nella pagina successiva)
6. Cliccare su per concludere

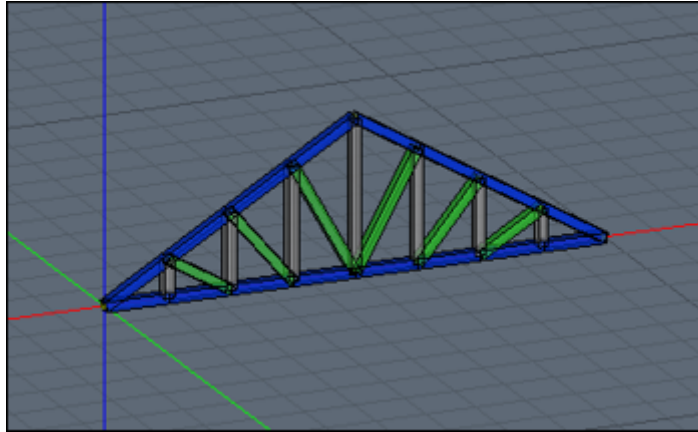



Figura 19.44 – Capriata in una direzione

19.4.3 Capannone

Crea ▷ Capannone

Inserimento di un capannone

Permette la creazione interattiva di un capannone parametrico.

1. Cliccare su Crea ▷ Capannone
2. Scegliere i parametri caratteristici del capannone come altezza dei pilastri, presenza di controventi e presenza o meno di arcarecci ruotati:

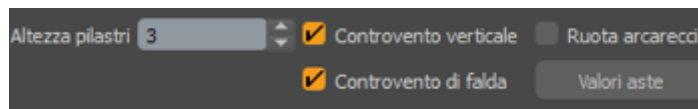



Figura 19.45 – Parametri generici del capannone

3. Specificare altri parametri caratteristici del capannone come tipo, altezza della capriata e del monaco, divisioni di falda, eventuale presenza di sbalzi laterali:

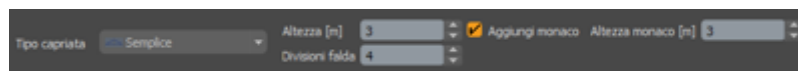
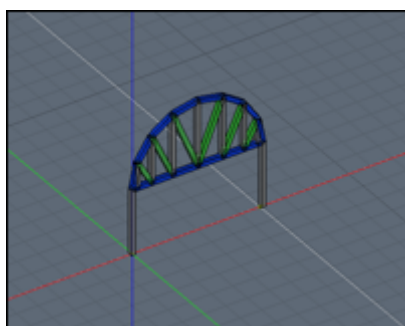
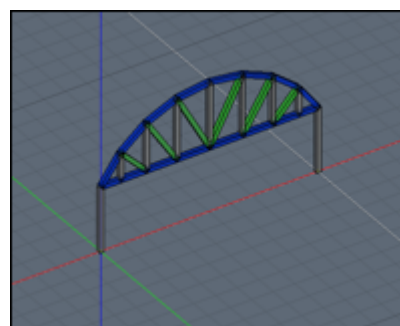
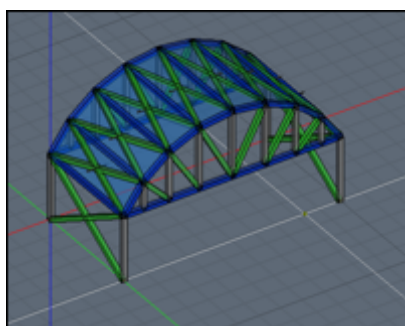



Figura 19.46 – Parametri del capannone

4. Muovere il mouse, nella finestra grafica, sulla posizione voluta per il primo estremo della capriata del capannone e cliccare con il tasto sinistro del mouse per fissarlo
5. Muovere il mouse per variare la luce della capriata del capannone (vedi fig. 19.47(a) nella pagina seguente)

6. Cliccare con il tasto sinistro del mouse per fissare il secondo estremo (vedi fig. 19.47(b) nella pagina successiva)
7. Muovere il mouse per variare la luce della prima campata (vedi fig. 19.47(c) nella pagina seguente)
8. Cliccare con il tasto sinistro del mouse per fissare la lunghezza della prima campata
9. Ripetere i punti 7 e 8 per tutte le campate (vedi fig. 19.47(d))
10. Cliccare su ✓ per concludere

(a) Variazione luce della capriata (b) Creazione della capriata

(c) Variazione della prima campata (d) Aggiunta di altre campate

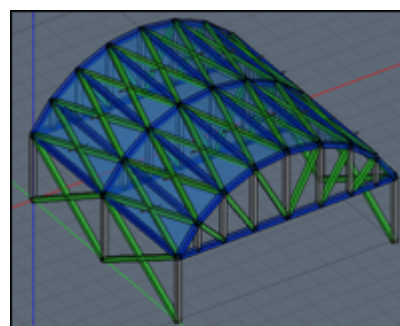



Figura 19.47 – Fasi di creazione di un capannone parametrico

19.4.4 Cupola

 Crea ▷ Cupola

Inserimento di una cupola

Permette la creazione interattiva di una cupola parametrica.

1. Cliccare su Crea ▷ Cupola

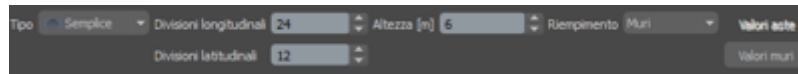



Figura 19.48 – Parametri della cupola *Semplice*

2. Scegliere i parametri caratteristici della cupola come tipo e riempimento (fig. 19.48 a fronte)

3. Muovere il mouse, nella finestra grafica, sulla posizione voluta per il centro della cupola e cliccare con il tasto sinistro del mouse per fissarlo

4. Muovere il mouse per variare il raggio

5. Eventualmente, nel caso di cupola semplice, inserire il valore preciso dell'altezza

6. Cliccare su per concludere

Il *Tipo* può scegliersi tra Semplice o Geodedica. Nel primo caso i parametri sono quelli riportati in figura 19.48 e cioè: *Divisioni longitudinali* e *latitudinali*, *Altezza* e *Riempimento*.

Nel caso di cupola Geodedica, invece, le proprietà sono mostrate in fig. 19.49: *Frequenza* e *Riempimento*.

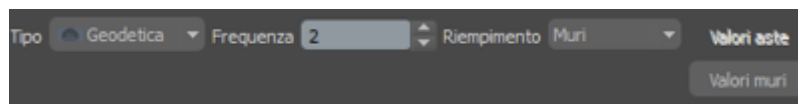



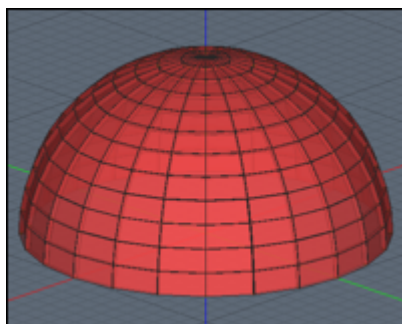
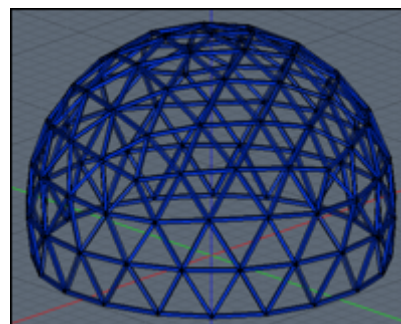
Figura 19.49 – Parametri della cupola *Geodedica*

(a) Cupola semplice a shell

(b) Cupola geodedica a travi

Figura 19.50 – Esempi di cupole parametriche

19.4.5 Serbatoio

Crea ▷ Serbatoio

Disegna serbatoi parametrici in maniera interattiva potendo modificare, in tempo reale, tipologia e proprietà.

Inserimento di un serbatoio

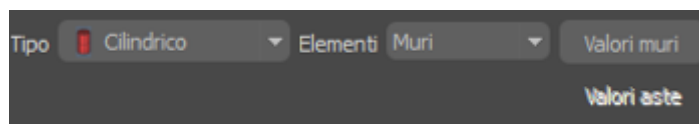
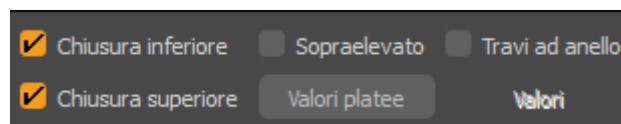
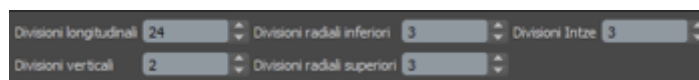
1. Cliccare su Crea ▷ Serbatoio
2. Scegliere i parametri caratteristici del serbatoio come *Tipo*, *Elementi* costituenti (fig. 19.51(a))
3. Specificare la presenza o meno di chiusure, se il manufatto è sopraelevato e la presenza di anelli di rinforzo (fig. 19.51(b))
4. Inserire le divisioni nelle direzioni caratteristiche della geometria (fig. 19.51(c))
5. Muovere il mouse, nella finestra grafica, sulla posizione voluta per il centro del serbatoio e cliccare con il tasto sinistro del mouse per fissarlo
6. Muovere il mouse per variare il raggio di base e fissarlo con un click
7. Nel caso di serbatoio cilindrico, muovere il mouse per variare l'altezza fissandola con il tasto sinistro del mouse
8. Cliccare su ✓ per concludere

(a) Tipo e riempimento

(b) Chiusura, sopraelevazione e anelli

(c) Divisioni

Figura 19.51 – Proprietà del serbatoio parametrico

La successione delle operazioni per i vari tipi di serbatoi è riportata nelle figure 19.52, 19.53 e 19.54.

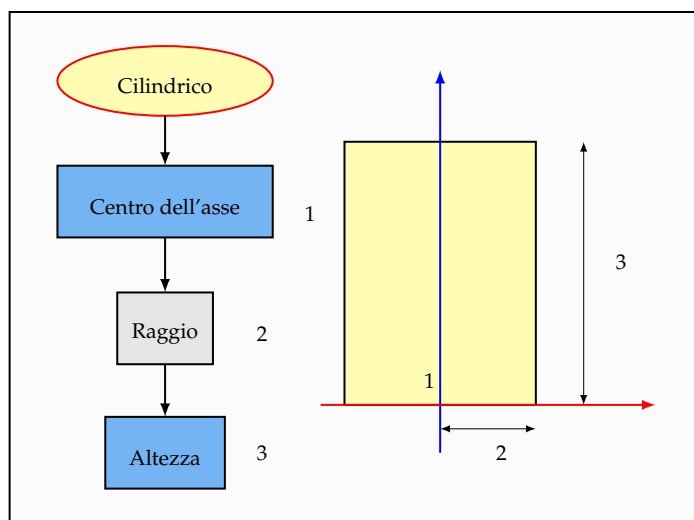



Figura 19.52 – Procedura di inserimento per un serbatoio cilindrico

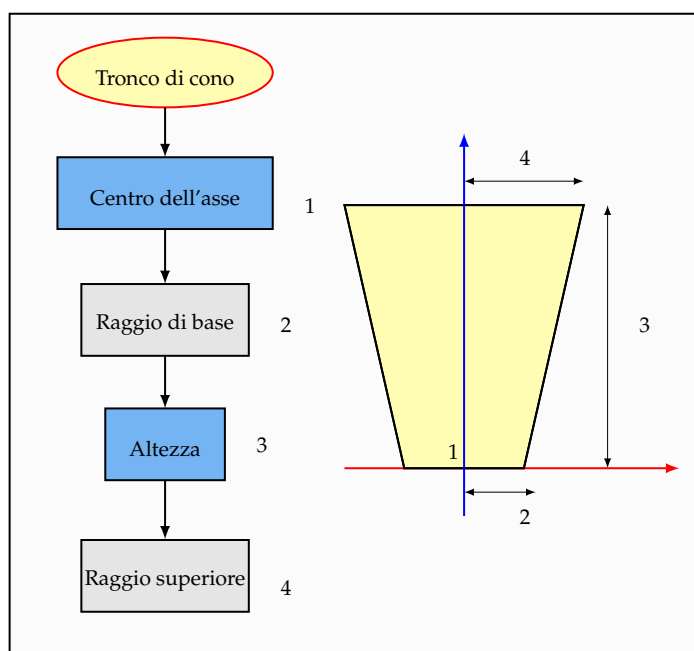



Figura 19.53 – Procedura di inserimento per un a tronco di cono

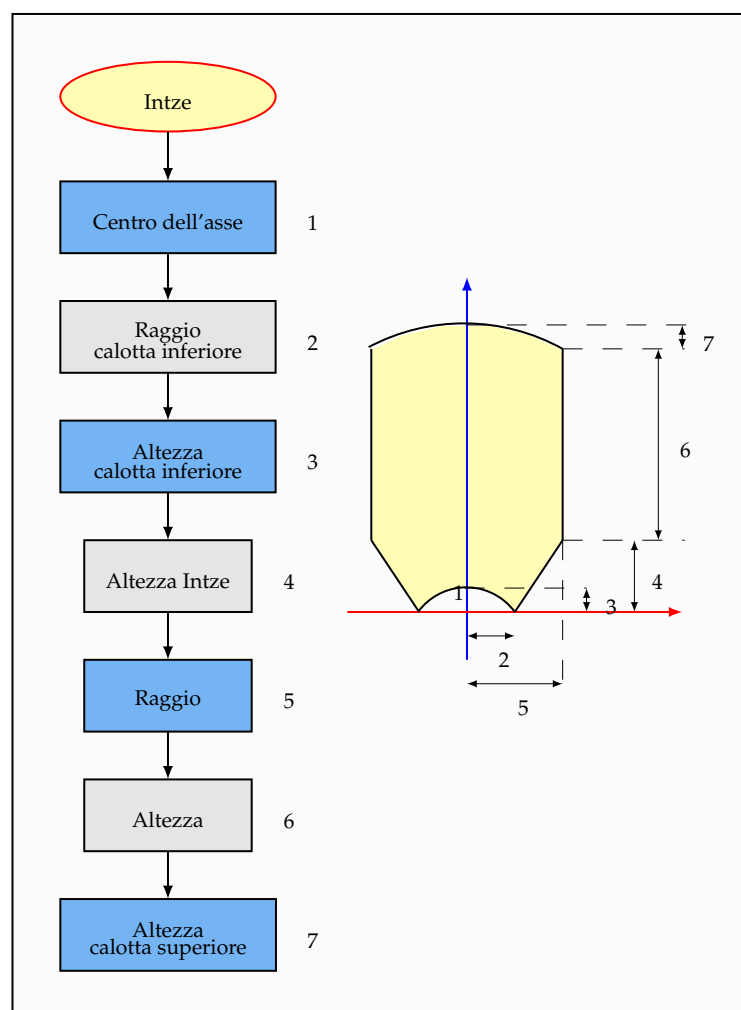



Figura 19.54 – Procedura di inserimento per un serbatoio Intze

19.4.6 Travi

Crea ▷ Travi

Raccoglie comandi per la generazione parametrica di travi come solette, travi continue e travi a ginocchio.

19.4.6.1 Soletta Rampante

Crea ▷ Soletta Rampante

Nella soletta rampante i gradini non hanno una specifica funzione strutturale, ma costituiscono parte del peso proprio della scala. Spesso sono riportati in muratura o realizzati in c.a. La modellazione può essere effettuata utilizzando elementi monodimensionali, come in questo caso, o in alternativa con elementi bidimensionali, modellando la soletta come una piastra incastrata alle travi di piano e intermedie.

Inserimento di una soletta rampante

1. Cliccare su Crea ▷ Travi ▷ Soletta Rampante
2. Inserire l'*Altezza della rampa* nel campo mostrato in figura 19.55
3. Eventualmente, impostare le proprietà delle travi cliccando sul tasto Valori aste
4. Portarsi nella finestra grafica e fissare, con un click del tasto sinistro del mouse, il punto iniziale del pianerottolo intermedio
5. Fissare dunque, analogamente, il punto finale del pianerottolo di arrivo

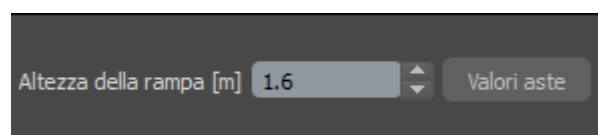



Figura 19.55 – Parametri della soletta

Come tutti gli elementi parametrici, una volta creata, la soletta può essere modificata agendo sui parametri corrispondenti. La modifica parametrica si ottiene selezionando, dal navigatore delle [Geometrie], § 22.2 a pagina 314, il nodo *Soletta_Rampante_0*[1] e operando sui parametri disponibili sulla destra, come mostrato in figura 19.56.

Nelle proprietà della soletta rampante compare anche una sezione ▼ Carichi che consente di inserire in modo agevole i carichi presenti

[1] l'etichetta del nodo nel navigatore potrebbe essere diverso in base al numero di solette create

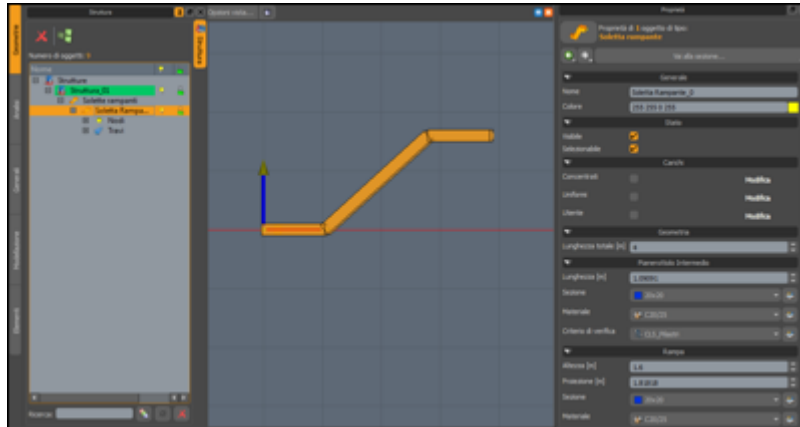



Figura 19.56 – Modifica parametrica della soletta

sulla struttura parametrica. In particolare è possibile attivare e inserire le seguenti tipologie di carichi:

Concentrati agenti sui quattro nodi della struttura

Uniformi divisi tra permanenti e variabili, agenti sui tre rami della soletta

Utente agenti sulle tre sezioni della trave, con influenza anche parziale e andamento lineare

In tutti i casi agendo sul pulsante Modifica è possibile caratterizzare i valori dei carichi corrispondenti.

19.4.6.2 Trave Continua

Crea ▷ Trave Continua

La trave continua è una trave rettilinea con vincoli solo esterni (nodali); uno di tipo incastro e gli altri di tipo appoggio (con rotazione intorno all'asse y locale); nel caso di presenza di sbalzo vi è dunque anche la presenza di un vincolo di tipo libero all'estremo corrispondente. La trave continua è iperstatica per carichi trasversali e il grado di iperstaticità è pari al numero di appoggi sovrabbondanti.

Inserimento di una trave continua

1. Cliccare su Crea ▷ Travi ▷ Trave Continua
2. Nella barra di controllo compariranno i parametri di figura 19.57 a fronte
3. Impostare le lunghezze degli sbalzi eventualmente presenti
4. Modificare, all'occorrenza, la tipologia di aste da utilizzare cliccando sul tasto Valori aste

5. Portarsi nella finestra grafica e fissare, con un click del tasto sinistro del mouse, il punto iniziale della trave continua
6. Ripetere l'operazione per ogni campata della trave fino al punto finale
7. Cliccare su per concludere

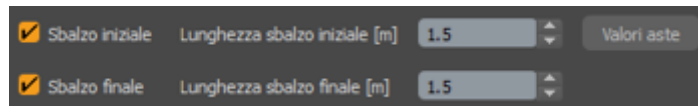



Figura 19.57 – Parametri di creazione della trave continua

19.4.6.3 Trave Ginocchio

Crea ▷ Trave Ginocchio

A differenza della [Soletta Rampante], § 19.4.6.1 a pagina 293, la trave a ginocchio ha i gradini che possiedono una specifica funzione portante; sono soggetti, infatti, a flessione deviata mentre la trave è soggetta a flessione/taglio e torsione.

Inserimento di una trave a ginocchio

Per l'inserimento della trave a ginocchio fare riferimento alla procedura relativa alla [Soletta Rampante], § 19.4.6.1 a pagina 293 in quanto è formalmente identica.

In fase di modifica, nella sezione ▼ Carichi delle proprietà della trave, compare un controllo aggiuntivo, attivabile nel caso di presenza di carichi nodali e uniformi, vedi fig. 19.58, che computa due coppie sui nodi di estremità dei due pianerottoli in modo da bilanciare le rotazioni negli stessi.

Figura 19.58 – Inserimento dei carichi per la trave a ginocchio

19.5 Carichi

Comandi per la creazione dei carichi sulla struttura. Il metodo di applicazione di tali entità è lo stesso indipendentemente dal tipo di elemento strutturale cui sono destinati.

Figura 19.59 – Menu Crea - Carichi

Dunque per applicare un carico occorre:

1. selezionare l'elemento o gli elementi interessati;
2. invocare il comando di creazione del carico;
3. specificare le proprietà dello stesso;
4. confermare.

IperSpace MAX® visualizza graficamente e in tempo reale il carico prima di essere confermato in modo tale da controllare eventuali inesattezze.

19.5.1 Nodi

Crea ⊳ Nodi

Crea, sui nodi selezionati, un carico puntuale di tipo:

- sollecitazione (forza e/o coppia)
- cedimento (traslazionale e/o rotazionale)
- termico (gradiente)

19.5.2 Aste

Crea ⊳ Aste

Crea, sulle aste selezionate, un carico di tipo:

- uniforme o variabile locale
- uniforme, variabile o poligonale globale
- torcente
- precompressione
- stress termico

19.5.3 Shell

Crea ⊳ Shell

Crea, sugli shell (muri, piastre e platee) selezionati, un carico di tipo:

- idrostatico
- precompressione
- stress termico
- terreno
- trapezoidale locale
- trapezoidale globale
- uniforme locale
- uniforme globale

19.5.4 Solai

Crea ⊳ Solai

Crea, sui solai selezionati, un carico uniformemente distribuito di intensità definita come carico su superficie unitaria.

19.6 Carichi automatici

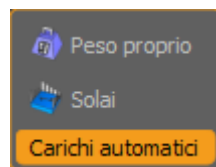



Figura 19.60 – Menu Crea - Carichi automatici

Comandi per la creazione di carichi automatici, diversi da quelli utente, come il peso proprio e gli scarichi dei solai sulle travi di contorno.

19.6.1 Peso proprio

Crea ⊳ Peso proprio

Computa, in automatico, il peso proprio di tutti gli elementi costituenti la struttura corrente generando la condizione di carico predefinita *Peso Proprio* (vedi [Condizioni di carico], § 22.3.3 a pagina 340).

Per i soli elementi shell, il peso proprio viene computato all'atto del calcolo, dunque, qualora fosse visibile la condizione di carico Peso Proprio, non sarebbe rappresentato il contributo di questi.

19.6.2 Solai

Crea ⊳ Solai

Computa, in automatico, gli scarichi di tutti i solai presenti nella struttura corrente generando le corrispondenti [Condizioni di carico], § 22.3.3 a pagina 340.

Queste, in numero di sei, possono raggrupparsi in tre tipologie:

- carichi Peso proprio solai
- carichi Fissi solai
- carichi Variabili solai

20 Menu Strumenti

Gli strumenti del mestiere del matematico sono carta e penna: come conseguenza, nessun matematico se li porta con sé, e devono sempre farsi prestare una penna e scrivere su un tovagliolo.

IAN STEWART

Il menu *Strumenti* include comandi relativi a configurazioni generiche di **IperSpace MAX®** e a utilità che supportano l'utente durante la modellazione.

20.1 Impostazioni

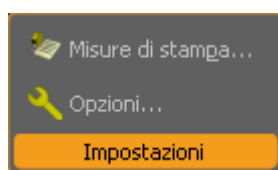



Figura 20.1 – Menu Strumenti - Impostazioni

Comandi per la configurazione di impostazioni generali di **IperSpace MAX®**.

20.1.1 Misure di stampa

Strumenti ⊳ Misure di stampa   Alt + s + p

Imposta le unità di misura per i tabulati delle stampe.

20.1.2 Opzioni

Strumenti ⊳ Opzioni

Imposta proprietà e opzioni globali. Attraverso il dialogo, riportato in figura 20.2, è possibile impostare alcune proprietà globali.

Queste sono organizzate in categorie, elencate sulla sinistra, la cui selezione mostra descrizione e valori delle proprietà da modificare.

Il bottone , posta sulla destra delle singole proprietà, permette di rispristinare il valore predefinito.

Il tasto Imposta valori predefiniti ripristina tutte le proprietà.

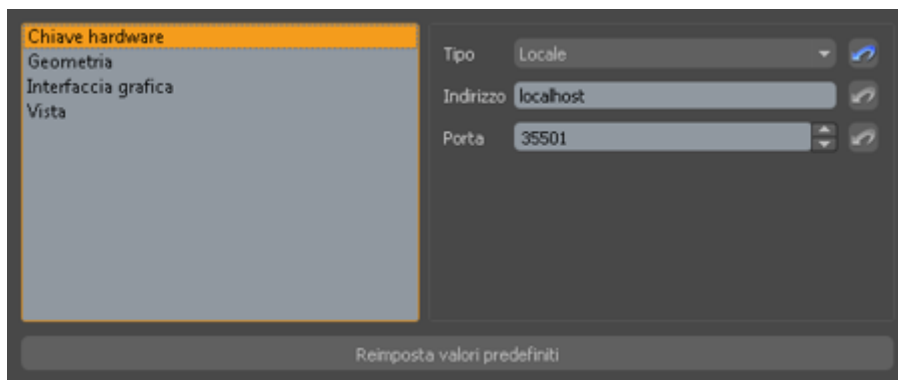



Figura 20.2 – Il dialogo delle opzioni globali

20.1.2.1 Chiave hardware

Tipo: permette di modificare le modalità di accesso alla chiave di protezione. Nella maggioranza dei casi la proprietà è impostata su *Locale*. Nel caso di multilicenze il dispositivo di protezione è dislocato su una macchina server. In questo caso la proprietà deve essere commutata su *In rete*.

Indirizzo: specifica l'indirizzo intranet, o IP[1], della macchina server.

Porta: specifica la porta TCP/UDP[2] per la connessione.

Le proprietà Indirizzo *e* Porta *hanno senso solo nel caso di dispositivo di protezione in remoto, dunque se la proprietà* Tipo *assume il valore* In rete.

[1] Internet Protocol
[2] Transmission Control Protocol e User Datagram Protocol

20.1.2.2 Geometria

Raggio nodo: imposta, in metri, il raggio dell'entità [Nodo], § 19.2.1 a pagina 267 solo ai fini della visualizzazione a video. Questa opzione risulta particolarmente utile quando si abbia a che fare con strutture in acciaio dove le dimensioni in gioco sono relativamente piccole.

20.1.2.3 Interfaccia grafica

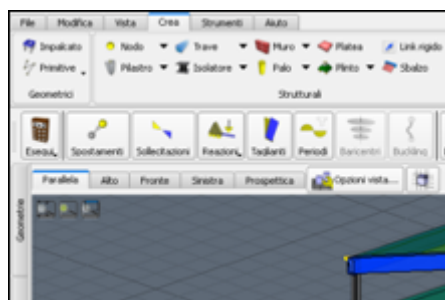
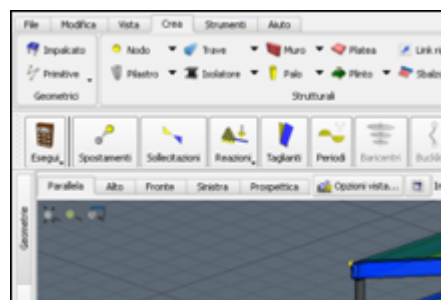
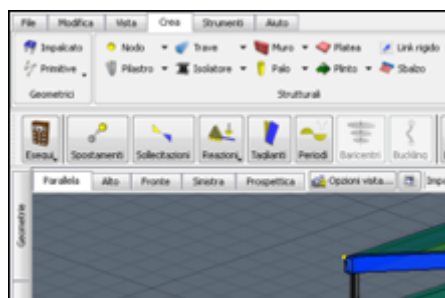
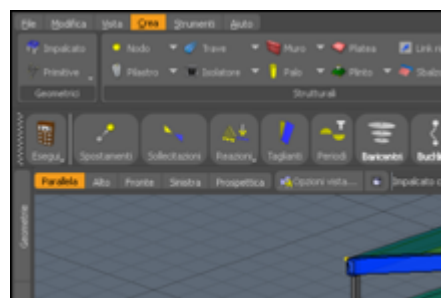
Stile: consente di modificare lo stile dell'ambiente grafico di **IperSpace MAX®** proponendo tre temi aggiuntivi oltre quello predefinito.

(a) Stile Clean Look

(b) Stile Plastique

(c) Stile **Windows®**

(d) Stile iMax

Figura 20.3 – Stili disponibili per l'interfaccia grafica di **IperSpace MAX®**

20.1.2.4 Vista

Sfondo vista grafica: imposta il colore di sfondo della finestra grafica.

Nel caso si modifichi lo sfondo della finestra è consigliabile, ma non necessario, adattare i colori della griglia (vedi [Griglie], § 22.5.2 a pagina 373).

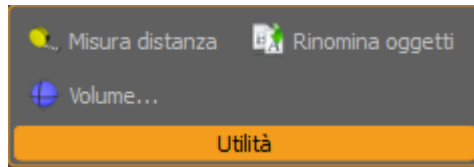



Figura 20.4 – Menu Strumenti - Utilità

20.2 Utilità

Strumenti utili nella modellazione strutturale in **IperSpace MAX®**.

20.2.1 Misura distanza

Strumenti ⊳ Misura distanza

Calcola e visualizza nell'ambiente grafico la distanza tra due punti nello spazio, fornendo anche le componenti della stessa rispetto al sistema di riferimento globale.

20.2.2 Volume

Strumenti ⊳ Volume

Calcola il volume di tutti gli elementi appartenenti alla struttura corrente o quello relativo ai soli selezionati. Il comando rileva anche le lunghezze degli elementi monodimensionali, le superfici di quelli bidimensionali e, per tutti, anche l'entità dei pesi relativi.

20.2.3 Rinomina oggetti

Strumenti ⊳ Rinomina oggetti

Rinomina l'etichette degli elementi, potendo scegliere se agire solo su alcune categorie specificandole cliccando sul tasto .

Il comando rinomina non *rinumera gli elementi, dunque agisce sulle etichette descrittive degli elementi, ma* non *sugli indici interni. Per modificare anche quest'ultimi fare riferimento al gruppo di comandi [Rinumera], § 17.6 a pagina 243.*

20.3 Vista

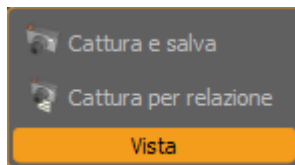



Figura 20.5 – Menu Strumenti - Vista

Comandi relativi alla visualizzazione grafica in **IperSpace MAX**® come il rilievo di viste strutturali per le relazioni e la gestione delle catture grafiche delle viste.

20.3.1 Cattura e salva

Strumenti ▷ Cattura e salva

Cattura la vista grafica corrente specificando il percorso di salvataggio ed eventualmente un colore per lo sfondo. Quest'ultima opzione risulta utile per le immagini da includere in relazioni per la stampa.

È possibile catturare anche un parte del contenuto della finestra includendo la zona interessata in un'area rettangolare.

Le immagini catturate dal comando, tutte in fomato .png, sono reperibili nella gestione immagini presente nella libreria [Immagini], § 22.5.3 a pagina 373.

20.3.2 Cattura per relazione

Strumenti ▷ Cattura per relazione

Analogamente al comando [Cattura e salva], § 20.3.1 cattura la vista grafica corrente o una sua parte associandole un'etichetta, modificabile, dall'utente.

È possibile scegliere l'ubicazione predefinita nella relazione di calcolo attraverso l'opzione *Vista 1/Vista 2*. Anche in questo caso le immagini, in formato .bmp, sono raggiungibili dalla libreria [Immagini], § 22.5.3 a pagina 373.

► Esempio 20.1: Catturare su sfondo bianco

Volendo catturare una vista grafica modificando il colore dello sfondo:

1. Eseguire [Cattura e salva], § 20.3.1 nella pagina precedente
2. Attivare il check *Sfondo personalizzato* (fig. 20.6)
3. Cliccare sul controllo del colore
4. Selezionare il colore desiderato dalla palette (fig. 20.7)
5. Chiudere il dialogo della palette agendo sul tasto Chiudi
6. Confermare con il tasto ↵ o cliccando su

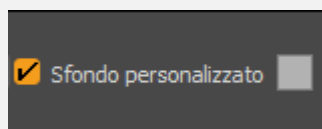



Figura 20.6 – Opzioni di cattura

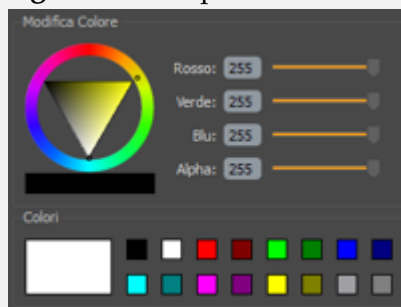



Figura 20.7 – Selezione del colore

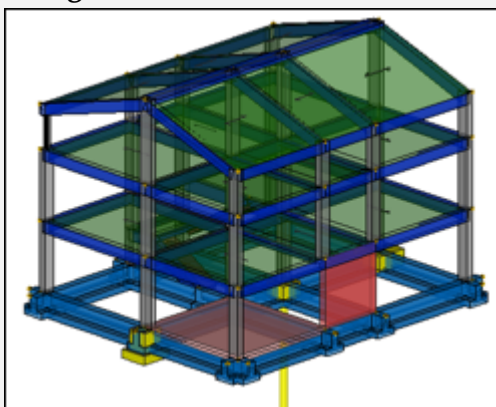



Figura 20.8 – Colore di sfondo bianco

21 Menu Aiuto

Volete aver molti in aiuto? Cercate di non averne bisogno.

Alessandro Manzoni

Il menu *Aiuto* raccoglie informazioni e collegamenti per il supporto e la documentazione di **IperSpace MAX**®.

21.1 Guide

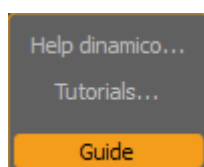



Figura 21.1 – Menu Aiuto - Guide

Raccoglie collegamenti alla documentazione di aiuto e di supporto integrata in **IperSpace MAX**®.

21.1.1 Help dinamico

Aiuto ▷ Help dinamico

Apre il dialogo dell'aiuto dinamico che propone in maniera automatica la documentazione relativa al comando corrente.

21.1.2 Tutorials

Aiuto ▷ Tutorials

Accede alla finestra da cui sono raggiungibili i tutorials integrati disponibili in **IperSpace MAX**®.

21.2 Informazioni

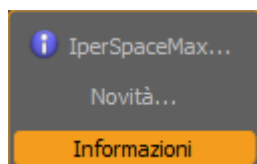



Figura 21.2 – Menu Aiuto - Informazioni

Contiene informazioni utili relative alla versione di **IperSpace MAX**®.

21.2.1 IperSpaceMax

 Aiuto ▷ IperSpaceMax

Accede al dialogo di informazioni di **IperSpace MAX**® che riporta, oltre alle note sui diritti di autore, all'elenco degli ideatori e dei principali sviluppatori, informazioni sulla versione del software.

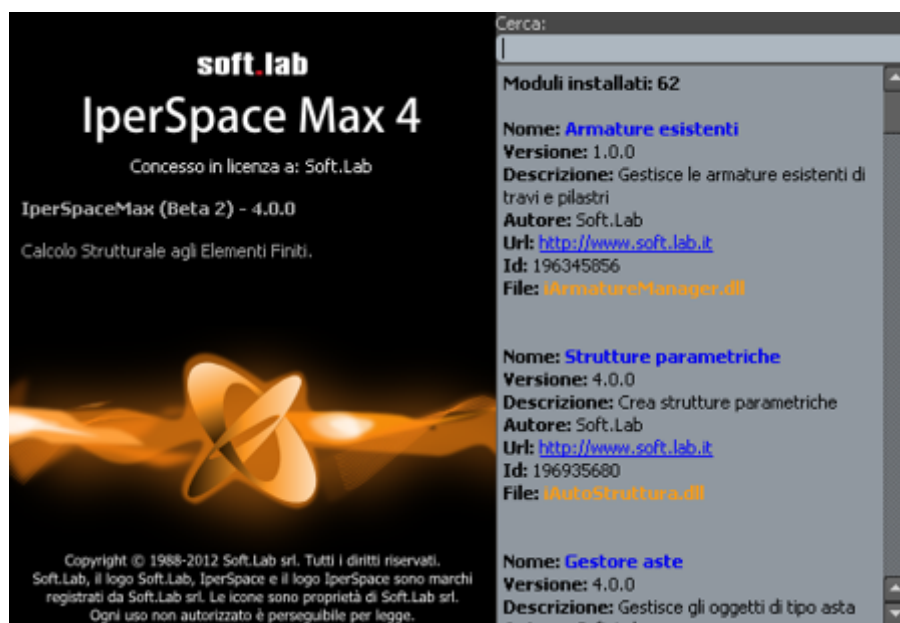



Figura 21.3 – Il dialogo di informazioni di **IperSpace MAX**®

21.2.2 Novità

Aiuto ▷ Novità

Elenca, in una finestra popup, le novità, introdotte dalla versione corrente di **IperSpace MAX**®, rispetto a quelle precedenti.

22
Tavolozze

Indice

Il presente capitolo illustra in dettaglio le funzionalità e gli aspetti legati agli elementi di libreria gestiti nel gruppo *Tavolozze* di **IperSpace MAX**®.

Le Tavolozze sono organizzate in gruppi accessibili da voci di menu, poste in verticale, sulla sinistra del controllo principale.

A loro volta i gruppi propongono dei sottogruppi specifici raggiungibili da voci di menu, sempre verticali, poste in corrispondenza delle voci principali, sulla destra del controllo.

In questo ambiente, tutti gli elementi sono gestiti come veri e propri oggetti, quindi le operazioni generiche, previste per essi, sono praticamente identiche anche per elementi appartenenti a contesti differenti. Ad esempio, l'operazione di inserimento o cancellazione di un oggetto *calcolo* è la stessa che si eseguirebbe su un oggetto *plinto*, *materiale* o *criterio di verifica*.

22.1 Operazioni generali

Schematicamente, come indicato dalla figura 22.1, la tavolozza può essere suddivisa in tre zone; una barra in alto da cui è possibile eseguire le operazioni di inserimento e cancellazione degli elementi, un'elenco degli elementi presenti in libreria e un controllo per le operazioni di filtro nel contesto dell'elenco corrente.

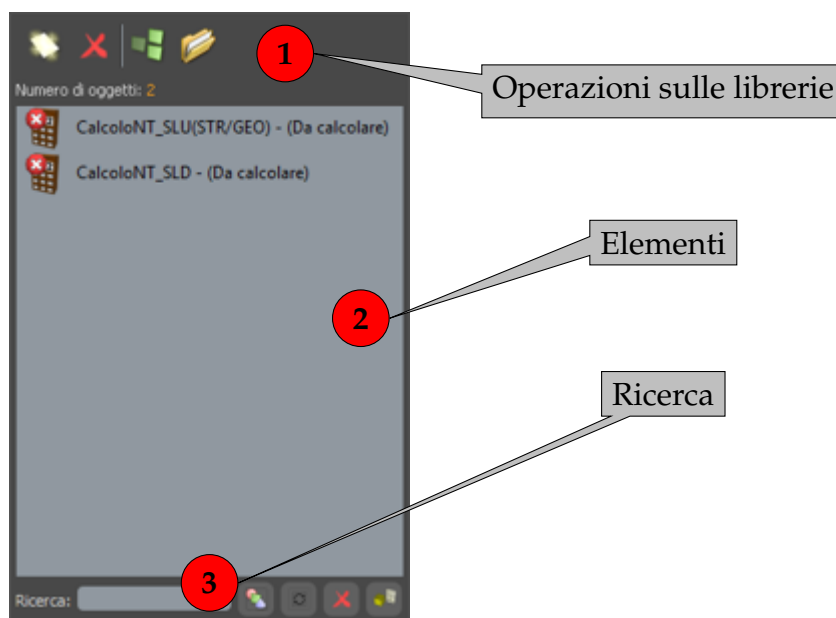



Figura 22.1 – Componenti della tavolozza

22.1.1 Creazione di un oggetto

Per creare un nuovo elemento cliccare sul tasto . Se l'elemento prevede più modelli il comando aprirà un sottomenu che presenterà tutte le possibili scelte.

Per alcuni elementi non è prevista l'operazione di inserimento di un nuovo oggetto, dunque in tali casi l'icona non sarà visibile.

22.1.2 Cancellazione di un oggetto

Per cancellare gli elementi di libreria selezionare uno o più elementi e cliccare sul tasto .

*La cancellazione non chiede conferma in quanto in **IperSpace MAX®** è sempre possibile ripristinare lo stato precedente attraverso il comando [Annulla], § 17.1.1 a pagina 236.*

22.1.3 Duplicazione di un oggetto

Per duplicare gli elementi di libreria selezionare uno o più elementi e cliccare sul tasto .

Questa operazione creerà un nuovo oggetto con un'etichetta coincidente con quella dell'oggetto originale anteponendo il prefisso *Copia di*.

Il comando risulta utilissimo laddove si renda necessario modificare un numero ridotto di proprietà in un tipo di elemento che ne possegga numerose; la duplicazione dell'elemento in questo caso, infatti, permette di crearne uno nuovo come copia di quello esistente e successivamente di modificarne le sole proprietà volute.

22.1.4 Importazione da file di un oggetto

Durante l'utilizzo di **IperSpace MAX®** si ha spesso la necessità di reperire oggetti (siano essi elementi strutturali, condizioni di carico, scenari di calcolo, ecc.) da lavori precedenti o da file di prototipo che includono impostazioni non presenti nel progetto corrente.

In questo caso è utile condividere queste informazioni in maniera trasversale attraverso differenti progetti.

Per importare gli elementi di libreria da un file esterno (struttura o prototipo), cliccare sul tasto della tavolozza; si aprirà il dialogo di figura 22.2 a fronte.

Attraverso il bottone è possibile aggiungere i file da cui attingere gli oggetti di libreria. Al contrario il tasto elimina i file selezionati. Una volta selezionati gli elementi è possibile visionarne tutte le proprietà, attivando il tasto , in modo da valutare o meno l'importazione degli stessi. Le icone e consentono l'importazione, dalle sorgenti, rispettivamente dei soli elementi selezionati o di tutti.

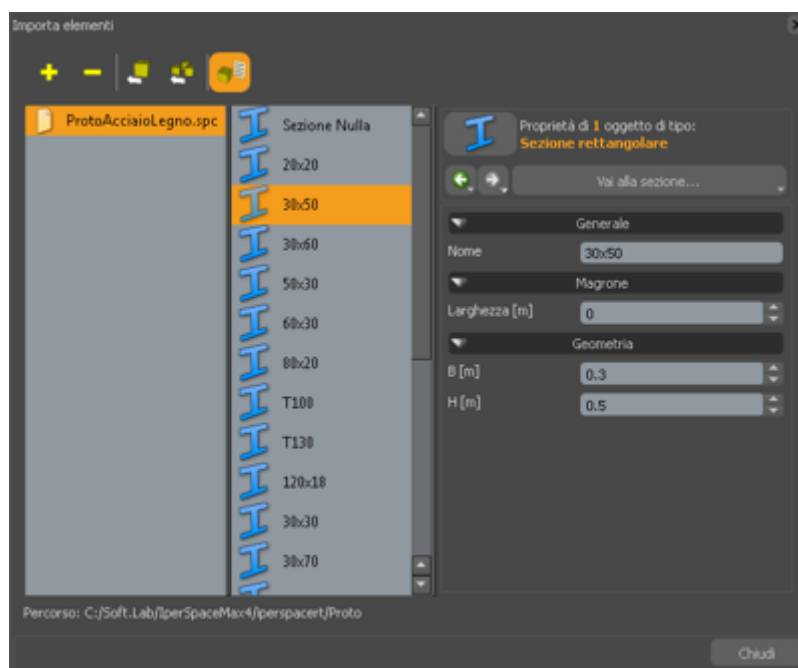



Figura 22.2 – Dialogo di importazione degli oggetti di libreria

L'importazione degli elementi è legata alla tipologia della libreria, nel senso che, ad esempio, dalla libreria "Sezioni" si potranno importare solo elementi di questa famiglia. Volendo, invece, importare con un'unica operazione più elementi eterogenei fare riferimento al comando più generale [Elementi], § 16.2.1.1 a pagina 188.

22.1.5 Funzioni di ricerca e selezione

Nel caso in cui la tavolozza mostrasse un numero di elementi considerevole sarebbe complicato individuare gli oggetti cercati.

Si pensi, ad esempio, ad un archivio delle sezioni. In questo caso il numero di elementi potrebbe rendere ardua l'operazione di ricerca di una singola sezione o di un gruppo di sezioni.

Il controllo, posto in basso alla tavolozza, consente di visualizzare solo gli elementi la cui etichetta contenga i caratteri inseriti nel campo preposto *Ricerca*. La ricerca è eseguita in tempo reale e all'utente vengono proposti solo gli elementi, che soddisfano i criteri di ricerca, man mano che si inseriscono i caratteri. Nella tabella 22.1 nella pagina seguente sono riportate le icone presenti con il loro significato.

TABELLA 22.1 – Pulsanti del filtro per le tavolozze

Icona	Significato	Descrizione
	Seleziona	Seleziona automaticamente gli elementi conseguenti al filtro impostato nella casella *Ricerca*
	Aggiorna	Aggiorna la visualizzazione del risultato del filtro
	Reimposta	Ripristina la casella di testo *Ricerca*, eliminando il suo contenuto
	Seleziona per proprietà	Apre il dialogo per discriminare gli elementi di libreria in base alle proprietà, in analogia con quanto visto per gli elementi grafici, vedi selezione [Per proprietà], § 17.4.4 a pagina 239

22.2 Geometrie

La tavolozza *Geometrie* raccoglie i controlli legati ad oggetti prettamente geometrici e consente la gestione di proprietà generali della struttura.

22.2.1 Struttura

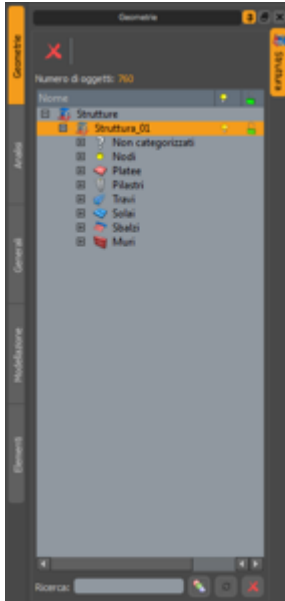



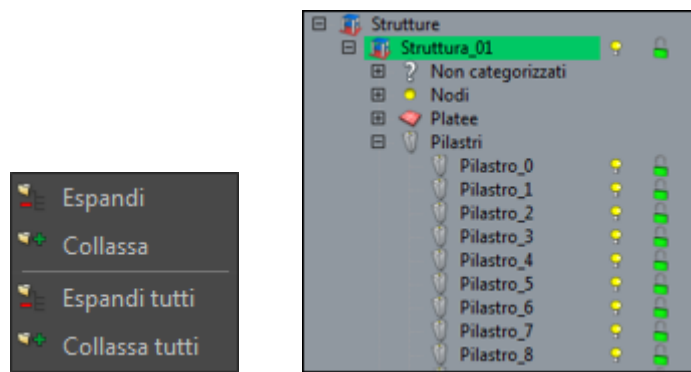
Figura 22.3 – Navigatore degli elementi

Rappresenta, attraverso una struttura gerarchica, gli elementi appartenenti alla struttura corrente organizzati per categorie coerenti.

Elementi simili, dunque, sono raggruppati sotto categorie nodali, espandibili/collassabili, che individuano la famiglia di appartenenza; una trave si troverà sotto la categoria "Travi", un pilastro si troverà sotto la categoria "Pilastri", ecc.

L'organizzazione ad albero, *Tree View*, degli elementi permette di effettuare tutta una serie di operazioni come selezione, rinomina, cancellazione, ecc. su uno o più elementi. Per tale motivo, questo controllo di **IperSpace MAX**®, viene comunemente indicato anche con il nome di *Navigatore* degli elementi.

In presenza di [Impalcati geometrici], § 22.2.1.6 a pagina 320 le famiglie di elementi saranno a loro volta raggruppati per omogeneità di quota di appartenenza. Dunque i pilastri del primo impalcato si troveranno sotto la famiglia "Pilastri" che a sua volta sarà inclusa dal gruppo "Impalcato_1", ecc.

Agendo con il tasto destro del mouse si attiverà un menu contestuale, come indicato in figura 22.4(a) nella pagina successiva , che permette di espandere/collassare tutto l'albero o il singolo nodo selezionato (come nell'esempio dei pilastri in figura 22.4(b) nella pagina seguente).

(a) Il menu contestuale del navigatore

(b) Esempio di nodo espanso

Figura 22.4 – Navigatore

22.2.1.1 Selezione degli elementi

Selezionare gli elementi

Per selezionare un elemento dal navigatore cliccare con il tasto sinistro del mouse sull'etichetta dello stesso. Per selezionare un gruppo di elementi tenere premuto il tasto Ctrl e cliccare con il tasto sinistro del mouse sui singoli elementi. Qualora si renda necessaria una selezione multipla di elementi consecutivi cliccare sul primo elemento, con il tasto sinistro del mouse, e tenendo premuto il tasto Shift ⇑ , completare la selezione cliccando sull'ultimo elemento.

22.2.1.2 Modifica del nome degli elementi

Rinominare gli elementi

Per modificare l'etichetta di un elemento:

1. Selezionare l'elemento
2. Premere il tasto F2 [1] Il campo dell'etichetta diventerà editabile
3. Modificare il testo

Per assegnare uno stesso nome (etichetta) ad un gruppo di elementi:

1. Selezionare gli elementi
2. Modificare il campo *Nome* nel [Gestore delle proprietà], § 15.4.6 a pagina 173

22.2.1.3 Stato di selezione/visualizzazione degli elementi

Modificare lo stato di selezione/visualizzazione

In certe condizioni può risultare utile inibire lo stato di selezione e/o visualizzazione di alcuni oggetti nell'ambito della vista grafica. Per modificare tali proprietà sono disponibili nel navigatore, accanto all'etichetta

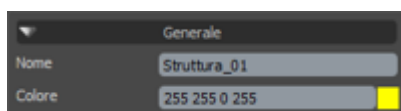
[1] Lo stesso risultato si può ottenere effettuando un doppio click (lento) sul nome dell'elemento

dell'oggetto, le due icone e .
Cliccando, con il tasto sinistro del mouse sulle stesse si modificheranno gli stati e le icone assumeranno rispettivamente le seguenti connotazioni e .

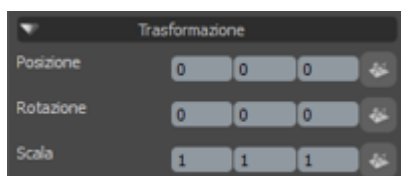
Per modificare lo stato di selezione e/o visualizzazione per un gruppo di elementi:

1. Selezionare gli elementi
2. Modificare i campi *Visibile* e/o *Selezionabile* nel [Gestore delle proprietà], § 15.4.6 a pagina 173

22.2.1.4 Proprietà della struttura

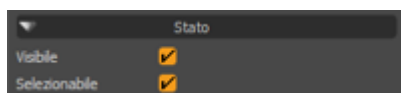
Selezionando, dal navigatore, il nodo principale della struttura corrente *Struttura_01*, si visualizzeranno nel [Gestore delle proprietà], § 15.4.6 a pagina 173 le proprietà generali del progetto.

▼ Generale

Nome: l'etichetta identificativa della struttura corrente

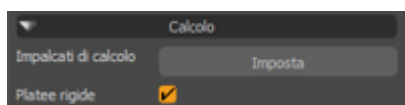
Colore: non utilizzato in questo caso

▼ Trasformazione

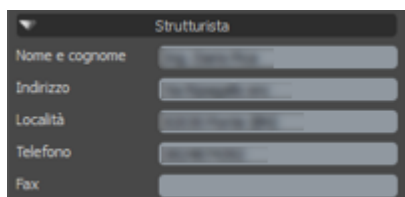
Posizione: indica le tre componenti, rispetto al riferimento globale, della posizione dell'origine della struttura

Rotazione: indica le tre rotazioni angolari rispetto ai tre assi globali

Scala: indica i tre fattori di scala rispetto ai tre assi globali

▼ Stato

Visibile: se non attivato rende l'intera struttura non visibile nella vista grafica

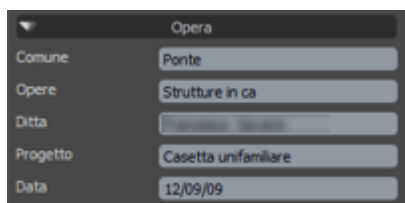
Selezionabile: se non attivato rende l'intera struttura non selezionabile dalla vista grafica

Impalcati di calcolo: gestisce, attraverso il pulsante Imposta, tutte le operazioni relative agli [Impalcati di calcolo], § 22.2.1.5 a fronte

Platee rigide: se attivato considera, durante il calcolo, le platee rigide assialmente

Nome e cognome: le generalità dello strutturista

Indirizzo: l'indirizzo di resisdenza dello strutturista

Località: eventuali informazioni come CAP, Comune e Provincia

Telefono: il numero di telefono dello strutturista

Fax: il numero di fax dello strutturista

▼ Opera

Comune: il comune di ubicazione dell'opera

Opere: breve descrizione

Ditta: denominazione della ditta

Progetto: descrizione del manufatto

Data: data di progetto

Qualora non fossero visibili le proprietà assicurarsi di non avere filtri di selezione attivi.

22.2.1.5 Impalcati di calcolo

Gli impalcati di calcolo interessano i soli elementi nodali e sono necessari, ai fini del calcolo, per la determinazione delle masse e per le deformabilità dei piani. Cliccando sul pulsante Imposta, nella sezione ▼ Calcolo delle [Proprietà della struttura], § 22.2.1.4 a pagina 317, è possibile gestire gli impalcati di calcolo della struttura corrente.

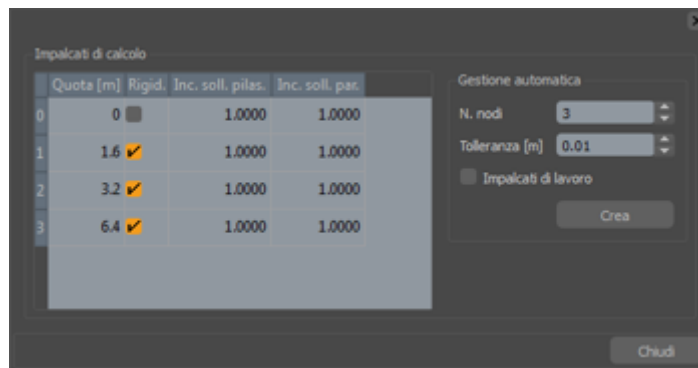



Figura 22.5 – Gestione degli impalcati di calcolo

Il dialogo di figura 22.5 presenta una tabella le cui righe rappresentano gli impalcati di calcolo e le colonne le proprietà degli stessi. Ogni impalcato è individuato da:

Numero: indice progressivo per identificare l'impalcato.

Quota: altezza, rispetto al riferimento globale, del piano dell'impalcato

Rigidità: check per assegnare all'impalcato la proprietà *Rigido*, al contrario se il check non fosse attivato sarebbe considerato *Deformabile*. In genere vanno considerati deformabili l'impalcato *0*, di fondazione, e i piani inclinati come le coperture.

Incremento sollecitazioni pilastri: incremento dovuto a disuniformità dei tamponamenti rispetto agli altri piani; ad esempio va inserito in un piano pilotis.

Incremento sollecitazioni pareti: vedi parametro precedente; per entrambi vedi § 7.2.3 [NTC, 2008].

Nel caso vengano modificati il numero degli impalcati o i valori relativi agli incrementi delle pareti, nelle successive verifiche il programma ricostruirà le sollecitazioni delle pareti.

22.2.1.5.1 Inserimento di un impalcato di calcolo

Per inserire manualmente un impalcato di calcolo agire con il tasto destro del mouse sulla griglia di figura 22.5 nella pagina precedente per attivare il menu contestuale e scegliere la voce *Inserisci*. Successivamente modificare le proprietà del nuovo impalcato secondo le proprie esigenze.

22.2.1.5.2 Generazione degli impalcati di calcolo

Generare gli impalcati di calcolo

Per generare, in maniera automatica, gli impalcati di calcolo:

1. Definire, attraverso il controllo *N. nodi*, il minimo numero di nodi complanari per cui si intercetti un impalcato
2. Definire una *Tolleranza* entro cui nodi, con quote diverse, appartengano allo stesso impalcato
3. Eventualmente attivare il check *Impalcati geometrici* per generare, contestualmente all'impalcato di calcolo, il corrispondente impalcato geometrico
4. Cliccare su Crea

22.2.1.5.3 Eliminazione degli impalcati di calcolo

Rimuovere gli impalcati di calcolo

Per eliminare uno o più impalcati di calcolo selezionare le righe corrispondenti e scegliere la voce *Elimina* del menu contestuale richiamabile con il tasto destro del mouse.

Eventualmente fossero presenti anche impalcati geometrici questa operazione non *eliminerebbe anche questi.*

22.2.1.6 Impalcati geometrici

A differenza degli impalcati di calcolo, quelli geometrici sono stati introdotti per agevolare la modellazione di strutture con **IperSpace MAX**®. L'esistenza degli impalcati geometrici non implica la presenza di impalcati di calcolo e viceversa. Vi è comunque la possibilità, durante la creazione degli uni, di generare anche gli altri. Selezionando, dal navigatore, il nodo principale della struttura corrente *Struttura_01*, si visualizzeranno nella [Barra di controllo], § 15.4.3 a pagina 161 le icone e .

22.2.1.6.1 Inserimento di un impalcato geometrico

Vedi [Impalcato], § 19.1.1 a pagina 264.

22.2.1.6.2 Generazione degli impalcati geometrici

Generare gli impalcati geometrici

Esiste un modo per generare, in maniera automatica, gli impalcati geometrici che, a differenza del comando Crea ▷ [Impalcato], § 19.1.1 a pagina 264 , li ricava a valle di una geometria preesistente, permettendo di creare, eventualmente, anche i corrispondenti impalcati di calcolo.

1. Cliccare sul pulsante

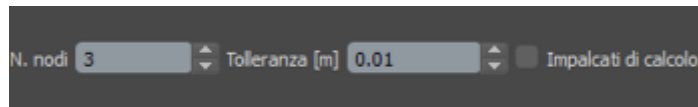



Figura 22.6 – Parametri per la generazione degli impalcati

2. Definire, attraverso il controllo *N. nodi*, il minimo numero di nodi complanari per cui si intercetti un impalcato
3. Definire una *Tolleranza* entro cui elementi, con quote diverse, appartengano allo stesso impalcato
4. Eventualmente attivare il check *Impalcati di calcolo* per generare, contestualmente all'impalcato geometrico, il corrispondente impalcato di calcolo

22.2.1.6.3 Eliminazione degli impalcati geometrici

Rimuovere gli impalcati geometrici

Per rimuovere eventuali impalcati geometrici operare nel seguente modo:

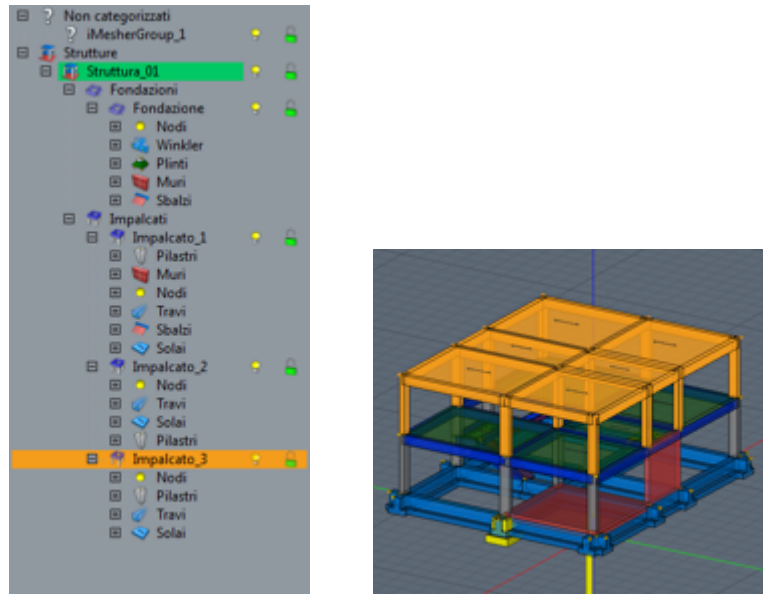
1. Cliccare sul pulsante

Analogamente con quanto sottolineato per gli impalcati di calcolo, eventualmente fossero presenti anche questi, questa operazione si limiterebbe ad eliminare solo quelli geometrici.

22.2.1.6.4 Copia di un impalcato geometrico

Copiare un impalcato geometrico

1. Selezionare dal navigatore il nodo corrispondente all'impalcato che si intende copiare, come riportato nell'esempio della figura 22.7(a) nella pagina successiva.

   Gli oggetti appartenenti all'impalcato in questione si evidenzieranno nella vista grafica (vedi figura 22.7(b) nella pagina seguente).

(a) Selezione dal navigatore

(b) Impalcato nella vista grafica

Figura 22.7 – Copia di un impalcato

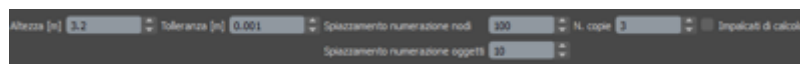



Figura 22.8 – Parametri per la copia degli impalcati

2. Cliccare sul pulsante , nella barra di controllo.
3. Definire l'*Altezza* del nuovo impalcato, lasciare il valore inalterato se coincide con l'altezza di quello selezionato
4. Specificare, se è il caso, la *Tolleranza* per il controllo di possibili nodi di destinazione già presenti[2]
5. Eventualmente caratterizzare gli intervalli per la numerazione dei nodi e degli oggetti
6. Definire il *N. copie* per generare più impalcati
7. Eventualmente attivare il check *Impalcati di calcolo* per generare contestualmente ai nuovi impalcati geometrici anche i corrispondenti impalcati di calcolo
8. Cliccare su per confermare

[2]Potrebbe risultare utile se gli impalcati generati dalla copia possano occupare parzialmente uno spazio già interessato da altri nodi preesistenti. In questo caso se la differenza di quota tra i nuovi nodi e quelli esistenti rientra nella tolleranza specificata, il comando di copia eviterebbe la generazione di nodi superflui e le nuove geometrie si aggancerebbero ai nodi preesistenti.

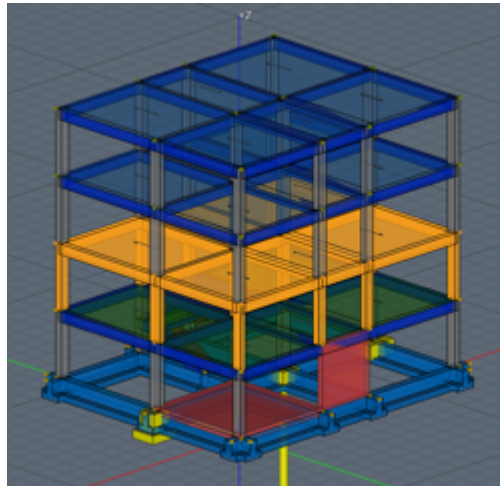



Figura 22.9 – Risultato della copia di un impalcato

22.3 Analisi

La tavolozza *Analisi* mette a disposizione, per la struttura corrente, tutti gli aspetti inerenti alle fasi di calcolo e di post processing.

22.3.1 Calcoli

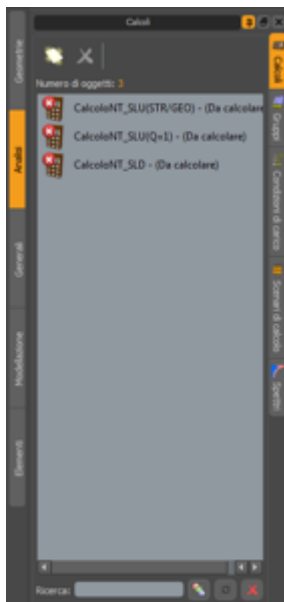



Figura 22.10 – Gestore dei calcoli

Visualizza, per la struttura corrente, l'elenco dei calcoli disponibili, sia quelli completati che quelli ancora da eseguire.
Come accennato in precedenza, nell'ambito di **IperSpace MAX**®, anche il calcolo è considerato un oggetto di libreria, dunque tutte le [Operazioni generali], § 22.1 a pagina 311 sugli oggetti valgono anche per la tavolozza *Analisi*. Ne consegue che, in questo ambiente, è possibile creare, rinominare o cancellare uno o più oggetti calcolo.
Il gruppo *Calcoli* rappresenta il punto centrale per la gestione dei calcoli associati alla struttura corrente. Da qui, infatti, è possibile eseguire un calcolo (o più calcoli simultaneamente) dopo averne impostato le proprietà e valutare i risultati conseguenti. A tale scopo ogni calcolo è individuato da una descrizione e da una icona che rappresenta lo stato di calcolo eseguito o meno. L'icona indica che il calcolo in oggetto è stato eseguito correttamente ed è possibile interrogare i risultati; qualora la stessa icona

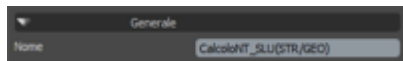
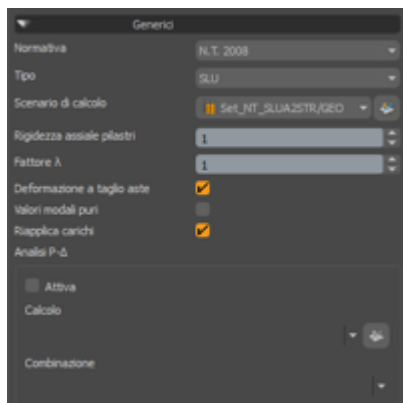
si presenti corredata con il segno ciò sta ad indicare che il calcolo in questione non è stato ancora eseguito. A rimarcare questo stato, sulla destra della descrizione, comparirà anche la dicitura “Da calcolare”.

22.3.1.1 Creazione di un nuovo calcolo

Per creare un nuovo oggetto calcolo operare come descritto nella sezione [Creazione di un oggetto], § 22.1.1 a pagina 311.

IperSpace MAX® *propone, per comodità dell’utente, due calcoli preimpostati,* CalcoloNT_SLV(STR/GEO) *e* CalcoloNT_SLE_SLD. *Tali impostazioni sono contenute nel prototipo di default, dunque qualora non fossero presenti eseguire il comando [Carica prototipo], § 16.1.5 a pagina 186.*

22.3.1.2 Proprietà del calcolo

Per accedere alle proprietà di un calcolo, selezionarlo dalla lista di figura 22.10 nella pagina precedente e intervenire nel [Gestore delle proprietà], § 15.4.6 a pagina 173 sulla destra.

Nome: l’etichetta identificativa del calcolo corrente.

Normativa: consente di scegliere il tipo di norma con cui effettuare il calcolo:

- D.P.C.M. 3274
- D.M. 96
- N.T. 2008
- D.M. 96 T.A.

Tipo: [3]permette di scegliere la tipologia di calcolo tra *SLE* (Stato Limite di Esercizio) e *SLD* (Stato Limite di Danno).

[3]solo per normative N.T. e D.P.C.M.

Scenario di calcolo: consente la scelta delle combinazioni di carico per il calcolo.

Coefficiente importanza: [4] (indicato anche con I coefficiente di protezione sismica, vedi § C.6.1.1 del [DM96, 1996]) assume valori che vanno dall'unità ad 1.4 a seconda dell'importanza, ai fini sismici, della struttura. Per le opere la cui resistenza al sisma è di importanza primaria per le necessità della protezione civile, si assume 1.4. Per le opere che presentano un particolare rischio per le loro caratteristiche d'uso, si assume 1.2. Per le opere che non rientrano nelle categorie precedenti, si assume un valore di 1.0.

Rigidezza assiale pilastri: fattore di amplificazione che entra in gioco per edifici alti, in generale si può porre pari a dieci volte il numero dei piani se la struttura non ha pareti irrigidenti; nel caso di pareti irrigidenti conviene porre questo fattore uguale semplicemente a 10 qualunque sia il numero dei piani.

Fattore λ: [5]è un coefficiente per le forze di piano nell'analisi sismica statica pari a 0.85 se la costruzione ha almeno tre orizzontamenti e se $T_1 < 2T_C$, pari a 1.0 in tutti gli altri casi; vedi § 7.3.3.2 delle [NTC, 2008].

Deformazione a taglio aste: ha importanza nel caso di membrature aventi dimensioni trasversali piuttosto preponderanti rispetto alle dimensioni longitudinali, conviene comunque che sia sempre attivo.

Valori modali puri: se attivo, nell'analisi modale, impone che i valori modali non siano scalati per i rispettivi coefficienti di partecipazione. Utile quando si vogliono valutare le frequenze modali senza considerare fattori legati al sisma.

Riapplica carichi: se attivo riapplica automaticamente, prima del calcolo, i carichi [Peso proprio], § 19.6.1 a pagina 297 e [Solai], § 19.6.2 a pagina 297.

Analisi $P - \Delta$: sezione contenente le impostazioni relative al calcolo non lineare, importante in presenza di pilastri molto snelli, che tiene conto dei momenti del secondo ordine.

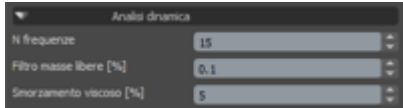
Attiva: esegue, all'atto del calcolo, anche l'analisi $P - \Delta$.

Calcolo: permette la scelta di un calcolo eseguito precedentemente.

Combinazione: permette la scelta della combinazione di carico, relativa al calcolo precedente, da cui reperire gli sforzi normali.

[4] solo per normative D.P.C.M. e D.M. 96

[5] solo per normative N.T. e D.P.C.M.

Normalmente viene scelta la combinazione rara *nella quale gli sforzi normali non sono amplificati in quanto le varie condizioni di carico sono moltiplicate per il coefficiente unitario.*

▼ Analisi dinamica

N frequenze: il numero di frequenze (anche detti *modi di vibrare*) sufficienti per eccitare l'85% delle masse costituenti la struttura

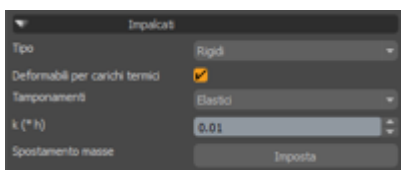
Si è potuto osservare che nel caso di strutture molto irregolari (strutture da calcolare forzatamente con l'analisi dinamica proprio perché irregolari) anche 100 modi di vibrare possono non essere sufficienti ad eccitare l'85% delle masse libere.

Si raccomanda comunque di non esagerare nella scelta del numero dei modi. Per far sì che con un numero di modi limitato si possa raggiungere l'85% delle masse libere occorre che l'utente semplifichi il modello strutturale. Ad esempio si può pensare di sostituire a una scala a soletta rampante il carico equivalente sulla trave del pianerottolo di riposo e su quella del pianerottolo di arrivo; al tetto lo scarico sui pilastri del penultimo piano, ecc.

Filtro masse libere: consente di eseguire una scelta dei modi più significativi, come percentuale, di quelli considerati nel calcolo. Si possono, cioè, scegliere quelli che rappresentano almeno una percentuale delle masse libere.

L'introduzione di tale parametro si rende necessario in quanto un numero elevato di modi comporta un carico computazionale che interessa non solo il calcolo vero e proprio, ma anche la fase di verifica. Ciò è dovuto alla particolare sollecitazione o spostamento ottenuta normalmente con il metodo CQC *che rende tanto più complessa la elaborazione quanto più è elevato il numero dei modi.*

Smorzamento viscoso: è un fattore di attenuazione, in percentuale, per le strutture intelaiate sia in c.a. che in acciaio. Approssimativamente assume il valore del 5%; questo valore interviene nel caso della combinazione dei modi con il metodo *CQC* e nella definizione dello spettro. La combinazione dei modi può avvenire secondo due metodi:

- Metodo SRSS: questo metodo è solo quando i periodi di vibrazione differiscono tra loro di almeno il 10%
- Metodo CQC: questo metodo può essere sempre applicato perché è più preciso.

▼ Impalcati

Tipo: il calcolo può essere effettuato per impalcati rigidi o per impalcati deformabili. Normalmente per i fabbricati il calcolo va effettuato per impalcati rigidi.

Deformabili per carichi termici: attivando questa opzione si rendono deformabili gli impalcati rigidi quando venga effettuato il calcolo con carichi termici.

L'utente deve escludere dagli impalcati rigidi i piani inclinati come indicato in [Impalcati di calcolo], § 22.2.1.5 a pagina 319.

Tamponamenti: permette di specificare i tipi di tamponamenti per la verifica degli spostamenti ammissibili d'impalcato. Per le normative *D.M. 96* è possibile scegliere tra *Rigidi* o *Elastici*. Per le normative *D.P.C.M.* e *N.T.* oltre ai precedenti sono presenti anche *Muratura ordinaria* e *Muratura armata*.

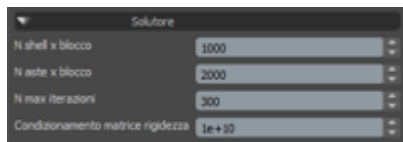
k(*h): è il coefficiente per determinare gli spostamenti in funzione del tipo di tamponamento e della normativa. Nella tabella 22.6 nella pagina successiva sono riportati i valori in funzione di queste variabili.

Spostamento masse: [6]consente di definire, cliccando sul tasto Imposta, le proprietà relative allo spostamento delle masse degli impalcati

[6]solo per normative N.T. e D.P.C.M.

agendo sulla traslazione dei rispettivi baricentri. Fare riferimento alla sezione [Spostamento masse impalcati], § 22.3.1.2.1 a pagina 331.

Tabella 22.6 – Coefficienti k(*h) per determinare gli spostamenti

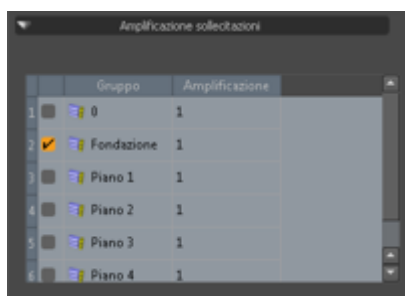
Normativa	Tipi di tamponamento	k(*h)
N.T. 2008 D.P.C.M. 3274	Rigidi	0.005
	Elastici	0.01
	Muratura ordinaria	0.003
	Muratura armata	0.004
D.M. 96 D.M. 96 T.A.	Rigidi	0.002
	Elastici	0.004

N shell x blocco: il numero di shell da calcolare per ogni singolo blocco di memoria.

N aste x blocco: il numero di aste da calcolare per ogni singolo blocco di memoria.

N max iterazioni: il numero di iterazioni massime per la ricerca degli autovettori.

Condizionamento matrice di rigidezza: coefficiente per determinare quando un elemento sulla diagonale principale della matrice di rigidezza fattorizzata è da considerarsi zero rispetto al termine più grande.

Il solutore utilizza dei blocchi di memoria per memorizzare delle soluzioni intermedie per poi salvarle su memoria di massa. Per strutture di una certa dimensione gli shell o le aste potrebbero essere talmente numerose per cui la memoria centrale sarebbe insufficiente per contenerle tutte.
Dunque riducendo il numero di elementi per blocco sarà possibile sfruttare la memoria a disposizione anche per risolvere strutture grandi, ciò comporterà, però, un tempo più lungo per il solutore per scrivere e rileggere i blocchi.

In realtà un valore grande velocizza il calcolo ma bisogna fare i conti con la memoria, viceversa un valore piccolo rallenta ma consente di arrivare alla fine anche con modesta memoria a disposizione.

Il valore ottimale da impostare ai due parametri *N shell x blocco* e *N aste x blocco* potrebbe determinarsi in funzione delle seguenti considerazioni:

1. la memoria che si ha a disposizione
2. qualora se ne avesse molta, fatto un calcolo preliminare vedere quanti shell o beam entrano in gioco (dal file di log del solutore) e dunque impostare il numero di shell e beam per blocco ad un numero leggermente superiore in modo da usare un solo blocco sia per gli shell che per le aste.

Riguardo al parametro *Condizionamento matrice di rigidezza* questo di norma non va modificato ma vi sono casi in cui andrebbe fatto come quando si ha a che fare con strutture che hanno degli elementi molto rigidi e contestualmente ne hanno altri molto deformabili; si pensi, ad esempio, a una struttura che presenti grosse pareti in calcestruzzo sormontate da esili aste in acciaio. In tal caso **IperSpace MAX**® fornirebbe delle labilità, inesistenti nella realtà. Aumentando il valore di tale variabile si aggirerebbe il problema.

Figura 22.11 – Spostamento delle masse

▼ Amplificazione sollecitazioni

Gruppo: mostra l'elenco dei gruppi presenti e consente la selezione di quelli per cui si richiede un'amplificazione delle sollecitazioni.

Amplificazione: rappresenta il fattore per cui vanno moltiplicate le sollecitazioni relative al gruppo corrispondente.

22.3.1.2.1 Spostamento masse impalcati

Lo spostamento delle masse d'impalcato rappresenta la percentuale dello spostamento del baricentro delle masse in direzione x e y rispetto alle dimensioni della struttura. Viene richiesta l'applicazione di una eccentricità pari al 5% della dimensione in pianta rispettivamente in direzione x e y, qualunque sia la struttura simmetrica e non e l'analisi statica o dinamica.

In figura 22.11 a pagina 329, ogni coppia di valori della prima tabella rappresenta la posizione in cui verrà posto il baricentro delle masse rispetto alla posizione originaria.

Nella tabella in basso invece, sono presenti le combinazioni del sisma nelle posizioni delle masse che stanno ad indicare in che modo il sisma in x, in una data posizione, verrà combinato con il sisma in y in un'altra posizione attraverso i fattori specificati nelle colonne f_x e f_y, con quattro combinazioni di segni possibili.

L'utente può scegliere, attraverso il campo *N spostamenti masse*, il numero di spostamenti da impostare. La norma impone questo valore a 4, dunque **IperSpace MAX**® lo propone in maniera predefinita, ma attraverso i pulsanti in basso, è possibile modificare in modo automatico le impostazioni. Cliccando sul pulsante 1 posizione, ad esempio, si imposterà lo spostamento dei baricentri per una sola posizione.

Ciò risulta utile quando si voglia effettuare un calcolo di massima per ridurre i tempi di calcolo.

22.3.1.3 Calcoli preliminari

Cliccando sul pulsante, nella [Barra di controllo], § 15.4.3 a pagina 161, si aprirà il sottomenu dei calcoli che consente di eseguire, oltre al calcolo completo, anche una serie di analisi preliminari come:

- Controllo Dati
- Analisi Cinematica
- Calcolo dei Baricentri
- Analisi di Buckling
- Analisi Masse Partecipanti

22.3.1.3.1 Controllo Dati

Il comando effettua una verifica sulla correttezza formale della struttura fornendo una risposta immediata per eventuali errori che bloccherebbero il calcolo. Il comando mette in evidenza incongruenze strutturali evidenziandole mediante appositi messaggi visualizzati in una finestra diagnostica (vedi fig. 22.12).

Se l'errore è associato a un oggetto (esempio a un'asta priva di materiale), selezionando la riga corrispondente al messaggio, e cliccando sul pulsante Evidenziati, verrà selezionato l'oggetto in causa e il gestore delle proprietà mostrerà le grandezze per apportare le correzioni del caso. Qualora l'errore fosse relativo ad una serie di oggetti omogenei si potrebbero selezionare interamente attraverso il pulsante Tutti.

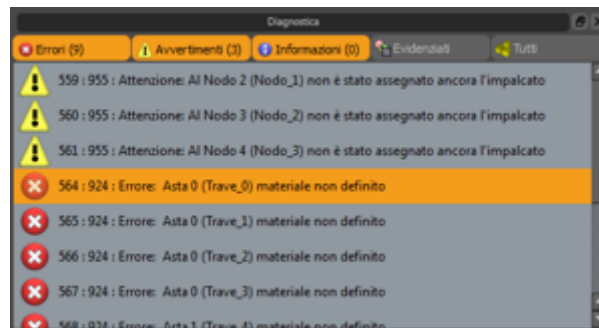
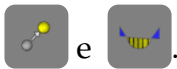



Figura 22.12 – Finestra diagnostica

22.3.1.3.2 Analisi cinematica

Spesso si è in presenza di strutture labili, ma non se ne conosce la causa. Questo tipo di analisi può fornire, come risultato, due messaggi: "la struttura non ha cinematismi" o la "struttura è labile".

Nel caso in cui siano presenti cinematismi la finestra del solutore mostrerà un messaggio come mostrato in figura 22.13 a fronte, inoltre sulla [Barra di controllo], § 15.4.3 a pagina 161 risulteranno attivi i pulsanti

22.3.1.3.3 Calcolo dei baricentri

Questo calcolo si basa sulla sola geometria della struttura e non richiede necessariamente la presenza di un calcolo vero e proprio. Una volta invocato il comando, sulla [Barra di controllo], § 15.4.3 a pagina 161, risulterà attivo il pulsante che cliccato mostrerà i risultati di figura 22.14 nella pagina successiva.

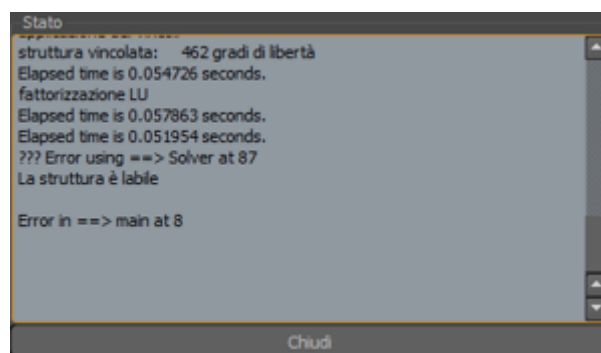



Figura 22.13 – Risultato dell'analisi cinematica

IperSpaceMax 2.5.1 Copyright® 2010 Soft.Lab:

Centri di rigidezza e Centri di massa

Centri rigidezze

Piano	Kx	Ky	Kxy	Kφ	X	Y	r/ls
	kg/cm	kg/cm	kg/cm	kg*cm/rad	cm	cm	
1	1.746522E05	1.229868E05	4.080729E04	1.003099E11	777	591	1.036
2	5.844824E04	3.720923E04	1.182172E04	3.296406E10	756	496	1.131
3	3.153440E04	1.832648E04	5.702699E03	1.670487E10	715	441	1.322
4	2.051594E04	1.067835E04	3.550767E03	9.753888E09	649	422	1.252

Ellissi delle rigidezze

Piano	K_ξ	K_η	alfa	r_ξ	r_η
	kg/cm	kg/cm	°	cm	cm
1	1.971161E05	1.005229E05	-29	999	713
2	6.371983E04	3.193764E04	-24	1016	719
3	3.365587E04	1.620501E04	-20	1015	705
4	2.166346E04	9.528827E03	-18	1012	671

Nessun Calcolo attivo. (Stampa delle masse disabilitata)

Figura 22.14 – Centri ed ellissi delle rigidezze

I baricentri delle masse possono essere stampati solo dopo aver eseguito un calcolo.

Da questa tabella, oltre ai centri delle rigidezze è possibile analizzare i valori r/l_s, riportati nell'ultima colonna, che forniscono un'idea del confronto tra rigidezza torsionale e rigidezza laterale della struttura. Se questo valore è inferiore a 0.8, anche per una struttura ad un solo piano, questa andrebbe considerata a "nucleo" con forte aggravio di azione sismica applicata.

Nella seconda tabella sono riportati i raggi delle ellissi delle rigidezze ai vari piani.

Qualora si invocasse il comando su un calcolo preesistente la procedura fornirebbe un risultato simile a quello mostrato dalla figura 22.15 nella pagina seguente.

Attivando, sulla barra di controllo, il check Disegna verranno visualizzati, sulla struttura corrente, per tutti i piani sia i baricentri delle

IperSpaceMax 2.5.1 Copyright® 2010 Soft.Lab: Ing. Dario Pica

Centri di rigidezza e Centri di massa

Scenario di calcolo : **Set_NT_SLUA2STR/GEO**

Centri rigidezze

Piano	Kx	Ky	Kxy	Kφ	X	Y	r/ls
	kg/cm	kg/cm	kg/cm	kg*cm/rad	cm	cm	
1	4.237894E05	2.953077E05	4.178555E03	1.422466E11	680	237	1.107
2	9.244276E04	7.549168E04	5.665058E02	4.159304E10	682	391	1.282
3	5.872119E04	4.480102E04	2.987564E02	2.781579E10	685	414	1.315

Ellissi delle rigidezze

Piano	K_ξ	K_η	alfa	r_ξ	r_η
	kg/cm	kg/cm	°	cm	cm
1	4.239251E05	2.951720E05	2	694	579
2	9.246167E04	7.547276E04	2	742	671
3	5.872760E04	4.479461E04	1	788	688

Baricentri masse per posizione masse

Piano	Pos.Masse	X	Y	Peso Sism.
		cm	cm	kg
0	1	0	0	0
0	2	0	0	0
0	3	0	0	0
0	4	0	0	0
1	1	678	474	123211
1	2	747	533	123211
1	3	678	592	123211
1	4	609	533	123211
2	1	674	499	126582
2	2	743	558	126582
2	3	674	617	126582
2	4	605	558	126582
3	1	675	518	50695
3	2	744	576	50695
3	3	675	635	50695
3	4	606	576	50695

Figura 22.15 – Centri delle masse

rigidezze, sia i baricentri delle masse che le ellissi delle rigidezze (vedi fig. 22.16 nella pagina successiva).

22.3.1.3.4 Analisi di buckling

L'analisi di buckling consente di determinare i moltiplicatori critici per carichi verticali che mandano in crisi la struttura. Una volta lanciato il comando, sulla barra di controllo, sarà possibile scegliere lo scenario di calcolo, la combinazione di carichi verticali da analizzare e il numero di moltiplicatori critici. Normalmente per questo ultimo parametro si impone il valore 1 che è quello più importante.

Una volta eseguito il calcolo, sulla barra di controllo, risulterà attiva l'icona che cliccata visualizzerà i risultati dell'analisi di buckling.

In figura 22.17 a fronte è riportato un esempio per un capannone relativamente ad una combinazione di carico avente un carico verticale eccentrico per la presenza della neve su una sola delle due falde.

Si può notare che il minimo moltiplicatore critico è 8.864, il che significa che in teoria si potrebbero aumentare i carichi verticali di oltre 8 volte senza che la struttura vada in crisi per instabilità globale. Ciò però non significa che la struttura sia in grado di sopportare tali carichi senza andare in crisi; anzi quasi certamente la struttura non sarà verificata agli stati limiti per una piccola amplificazione dei carichi.

Figura 22.16 – Disegno dei centri e delle ellissi

IperSpaceMax 2.5.1 Copyright® 2010 Soft.Lab:

Fattori moltiplicativi carico critico

N°	fattore
1	8.864

I fattori amplificativi sono relativi alla seguente combinazione di carico:

Condizione	fattore
Peso Proprio	1.300
QP Solai	1.300
QFissi Solai	1.500
QV Solai	0.000
QV SolaiPsi0	1.500
QV SolaiPsi1	0.000
QV SolaiPsi2	0.000
Tamponamenti(G2)	1.500
Neve	1.500
Vento X	0.000
Vento Y	0.900
Carichi termici	0.900

Figura 22.17 – Risultato dell’analisi di buckling

Il problema è molto simile a quello di un pilastro tozzo il quale, prima di instabilizzarsi per effetto di un grosso sforzo normale, si schiaccia.

22.3.1.3.5 Analisi masse partecipanti

Spesso capita che dopo aver eseguito un calcolo ci si accorge che le masse eccitate non raggiungono l’85% delle masse libere. In questo caso bisognerà aumentare il numero delle frequenze e rieseguire il calcolo, controllare le masse eccitate ed eventualmente ripetere l’operazione. Questo modo di procedere impegnerebbe molto tempo.

Il comando *Analisi masse partecipanti* evita di eseguire l'intero calcolo, ma esegue una analisi modale veloce senza archiviare nulla salvo i coefficienti di partecipazione e le masse eccitate. In questo modo all'utente è risparmiato un tempo considerevole in analisi superflue.

Una volta invocato il comando, sulla barra di controllo compariranno i parametri relativi all'analisi dinamica (vedi [Proprietà del calcolo], § 22.3.1.2 a pagina 324) *Num.Frequenze*, *Filtro Masse* e *Smorzamento Viscoso*.

Inserendo i valori voluti e confermando su , sulla barra di controllo, risulterà attiva l'icona che cliccata visualizzerà i risultati dell'analisi delle masse partecipanti come mostrato in figura 22.18).

IperSpaceMax 2.5.1 Copyright® 2010 Soft.Lab: Ing. Dario Pica

Periodi di vibrazione e Masse modali

Scenario di calcolo : Set_NT_SLU A2STR/GEO

Attenzione: il report è generato per il calcolo parziale: CalcoloNT_SLU(STR/GEO) (Sismico modale)
Posizione masse 1
Numero di Frequenze 15

N	T(s)	Coeff. Partecipazione		Masse Modali kgm*g		Percentuali	
		Dir=0°	Dir=90°	Dir=0°	Dir=90°	Dir=0°	Dir=90°
1	0.4214	133.309	-77.280	174265	58563	48.59	16.33
2	0.3986	-71.651	-152.625	50343	228425	14.04	63.69
3	0.3063	57.349	-11.500	32251	1297	8.99	0.36
4	0.1926	-65.437	1.167	41989	13	11.71	0.00
5	0.1155	-12.703	50.393	1582	24902	0.44	6.94
6	0.1107	-18.510	21.915	3360	4710	0.94	1.31
7	0.1090	41.204	20.807	16648	4245	4.64	1.18
8	0.1020	-10.686	-43.752	1120	18771	0.31	5.23
9	0.0937	-4.281	8.058	180	637	0.05	0.18
10	0.0880	10.795	1.790	1143	31	0.32	0.01
11	0.0829	8.357	-1.685	685	28	0.19	0.01
12	0.0789	-13.832	1.312	1876	17	0.52	0.00
13	0.0779	9.662	-1.710	915	29	0.26	0.01
14	0.0753	20.060	-4.646	3946	212	1.10	0.06
15	0.0737	32.771	3.346	10531	110	2.94	0.03
Somma delle Masse Modali [kgm*g]				340835	341989		
Masse strutturali libere [kgm*g]				358658	358658		
Percentuale				95.03	95.35	95.03	95.35

Figura 22.18 – Risultato dell'analisi delle masse partecipanti

Il calcolo delle masse partecipanti dipende comunque dalle proprietà del calcolo corrente, dunque tener presente che alcune proprietà del calcolo influenzerebbero il risultato dell'analisi come ad esempio il numero di posizioni delle masse (vedi [Spostamento masse impalcati], § 22.3.1.2.1 a pagina 331).

22.3.1.4 Ricombina

Cliccando sul pulsante , nella [Barra di controllo], § 15.4.3 a pagina 161, si aprirà il sottomenu dei calcoli che consente di eseguire, oltre al calcolo completo e a quelli preliminari, anche una ricombinazione

del calcolo corrente potendo modificare i coefficienti delle combinazioni presenti nello scenario.

Questo comando permette di rieseguire, con tempi ridottissimi, un calcolo precedente ricombinando i soli coefficienti dello scenario di calcolo; tale ricombinazione delle condizioni di carico rende molto più semplice la modifica dei parametri in quanto con le versioni precedenti era necessario rieseguire completamente tutto il calcolo.

Eseguendo il comando vi è, inoltre, la possibilità di generare un nuovo oggetto calcolo come copia di quello originale.

22.3.2 Gruppi

Figura 22.19 – Gestore dei gruppi

I gruppi permettono di aggregare entità diverse in unità logiche alfine di gestire particolari operazioni sulla struttura. Grazie ai gruppi, ad esempio, è possibile esportare una parte della struttura, come la fondazione, per esigenze particolari. Ciò è reso possibile includendo gli elementi eterogenei della fondazione (platee, travi Winkler, plinti, ecc.) nel medesimo gruppo.

Il dialogo di figura 22.19 permette di inserire nuovi gruppi, cancellare o rinominare gruppi esistenti e gestire per ogni gruppo le proprietà *Massa* e *Stampa*.

Il controllo *Massa* permette di attivare/disattivare le masse sismiche per il gruppo in esame. Ciò risulta utile, ad esempio, nel caso del gruppo fondazione la cui disattivazione delle masse comporterà una riduzione delle masse da eccitare e dunque il più facile raggiungimento della soglia dell'85%.

Il controllo *Stampa* attiva/disattiva le uscite (verifiche, armature, carpenterie) per gli oggetti appartenenti al gruppo. Normalmente per il gruppo *Fondazione* anche questo controllo è disabilitato. In tal modo si escluderebbero gli elementi del gruppo dalle uscite relative al calcolo della struttura di elevazione.

Gli oggetti creati sono inclusi automaticamente nel gruppo Predefinito.

▶ Esempio 22.1: Associare elementi a un gruppo

Per associare un insieme di elementi eterogenei al gruppo *Fondazione* eseguire i seguenti passi:

1. Selezionare, dalla vista grafica o dal navigatore, gli elementi interessati

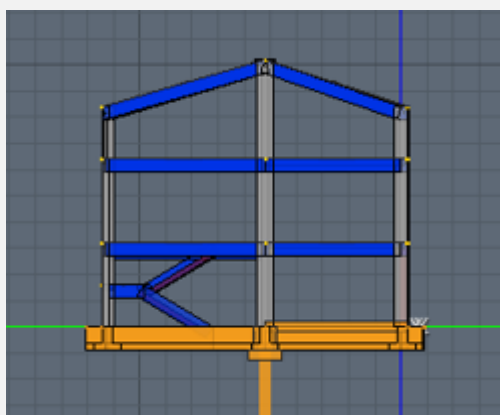



Figura 22.20 – Selezione di elementi eterogenei

2. Dal [Gestore delle proprietà], § 15.4.6 a pagina 173 modificare la proprietà *Gruppo* in Fondazione

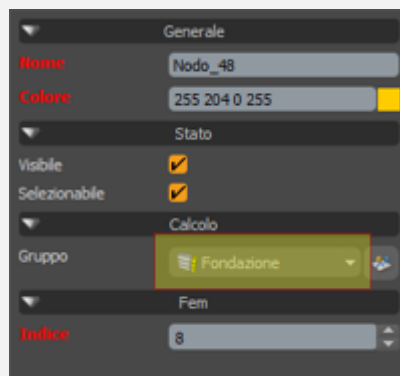



Figura 22.21 – Modifica del gruppo

22.3.3 Condizioni di carico

Figura 22.22 – Gestore delle condizioni di carico

Le *condizioni di carico* rappresentano dei contenitori entro cui organizzare i carichi agenti sugli elementi strutturali.
Tale organizzazione rende intuitiva la messa a punto delle combinazioni lineari che vanno a riempire le colonne della griglia tabellare degli [Scenari di calcolo], § 22.3.4 a pagina 342.
Dal gestore delle condizioni, vedi fig. 22.22, è possibile inserire, rinominare e cancellare una o più condizioni, attraverso i controlli posti in alto (vedi [Operazioni generali], § 22.1 a pagina 311).
Alcune condizioni sono predefinite e nel caso venissero eliminate sarebbero ricreate automaticamente invocando i comandi [Carichi automatici], § 19.6 a pagina 297; altre, come quelle relative al carico *Neve* o *Vento*, compaiono in base al prototipo corrente.
Volendo azzerare i carichi contenuti in una o più condizioni, selezionare le condizioni e cliccare sul tasto presente sulla barra di controllo.
Una volta create le condizioni di carico utente, sarà possibile associare i carichi alle stesse sia nella fase di creazione dei carichi che di modifica.

L'azzeramento dei carichi di una condizione, attraverso il tasto , non *elimina la condizione ma i carichi associati alla stessa.*

Tra le proprietà della condizione di carico compare anche il *Tipo* che può assumere:

G1: permanente strutturale

G2: permanente non strutturale

Qk: variabile

a seconda della natura dei carichi che contiene.

Il peso proprio rientrerebbe nella categoria G1; il carico fisso in quella G2.

▶ Esempio 22.2: Visualizzare il peso proprio

Per rendere visibile il peso agente su una struttura:

1. Se non già attivo, applicare il [Peso proprio], § 19.6.1 a pagina 297
2. Dal menu, della vista grafica, Opzioni vista, attivare il layer Carichi (vedi [Opzioni della vista], § 15.4.5.3 a pagina 167)
3. Attraverso il controllo 🔧 e il pulsante Nessuna disattivare tutte le condizioni di carico
4. Attivare Peso Proprio

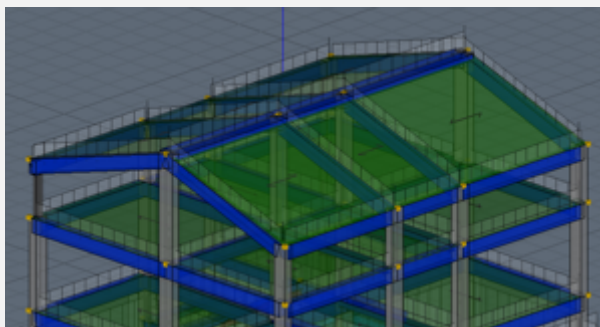



Figura 22.23 – Visualizzazione della condizione *Peso Proprio*

22.3.4 Scenari di calcolo

Figura 22.24 – Gestore degli scenari di carico

Gli *scenari di calcolo* organizzano combinazioni e condizioni attraverso dei coefficienti moltiplicatori dettati dalle normative scelte per il calcolo.
Dunque il gestore riportato in figura 22.24 propone una serie di scenari preallestiti in base alla tipologia di analisi.
Attualmente è possibile creare un nuovo scenario per le seguenti normative: *D.M.96 agli Stati Limite*, *D.M.96 alle Tensioni Ammissibili*, *D.P.C.M.3274* e *N.T.*
Selezionando una voce dall'elenco, di figura 22.24, sarà possibile modificarne le proprietà attraverso il gestore sulla destra.
Cliccando sul tasto Visualizza si aprirà la griglia dello scenario selezionato, come mostrato in figura 22.25.
Come si può notare uno scenario è organizzato in tabella; le colonne rappresentano, tranne l'ultima relativa alle masse, combinazioni lineari delle condizioni di carico.

Il tasto permette di aggiungere una nuova combinazione, dunque una colonna; per eliminare una combinazione, invece, cliccare con il tasto sinistro del mouse sulla sua intestazione per selezionarla (vedi fig. 22.26 a fronte) e cliccare su .

Figura 22.25 – Tabella dello scenario

Ogni combinazione riporta le seguenti proprietà:

Descrizione: breve descrizione della combinazione

Figura 22.26 – Selezione di una combinazione

Analisi: tipo di calcolo per la combinazione (non sismico, statico, modale)

Spettro: previsto solo per le analisi sismiche

Angolo ingresso sisma: angolo in gradi del sisma da specificare solo per calcolo statico o dinamico

Fattore sisma: normalmente unitario

Kmod: coefficiente correttivo valido solo per elementi lignei (vedi § 4.4.6 delle [NTC, 2008]), in tal caso un valore −1 elimina la combinazione dalla verifica

Condizioni di carico: prima quelle predefinite e successivamente quelle utente

Le condizioni di carico, diversamente dalle combinazioni, non possono essere eliminate in questa fase ma dal gestore delle [Condizioni di carico], § 22.3.3 a pagina 340.

Per ogni condizione di carico vi è la possibilità di fornire un coefficiente moltiplicatore per combinazione potendo attivare o meno il suo contributo agendo sul check a fianco.

A seconda delle normative scelte i coefficienti moltiplicatori relativi alle condizioni predefinite:

- Peso proprio
- Peso proprio dei solai
- Azione permanente dei solai
- Azione variabile dei solai

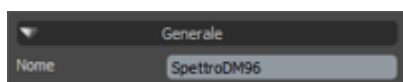
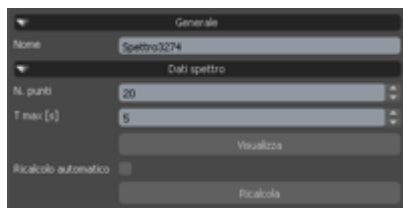
- Azione variabile ridotta dei solai

dipendono dai coefficienti ψ_0, ψ_1 e ψ_2 che sono definiti nella tipologia dei solai. I coefficienti assumono valori diversi a seconda se si è in presenza di una sola tipologia di solai (ad esempio uso abitazione) o di più tipologie (abitazione, uffici, autorimesse) nell'ambito della stessa struttura.

22.3.5 Spettri

Figura 22.27 – Gestore degli spettri

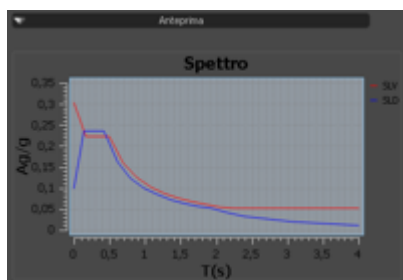
La valutazione della risposta sismica di una struttura può essere condotta mediante la tecnica dello spettro di risposta che consente di dare significato intuitivo ai parametri che definiscono il comportamento dinamico, e di chiarire gli aspetti elementari della risposta delle strutture durante un sisma.
Il gestore di figura 22.27 raccoglie diversi spettri per diverse analisi.
Attualmente è possibile creare un nuovo spettro per le seguenti normative: *D.M.96 agli Stati Limite*, *D.P.C.M.3274*, *N.T.* e *N.T. per isolatori*.
Il prototipo di **IperSpace MAX**®, relativo a strutture in cemento armato, propone un numero di spettri preimpostati: *Spettro 3274*, *Spettro D.M. 96*, *Spettro NT*, *Spettro NT(Q=1)*, *Spettro NT_Vert* e *Spettro N.T. per isolatori*.
I primi tre sono di facile comprensione e si riferiscono alle normative corrispondenti; lo *Spettro NT(Q=1)* prevede la massima accelerazione sismica nella zona di costruzione senza alcuna riduzione e lo *Spettro NT_Vert* considera un'analisi per sisma verticale (quando si è in presenza di grandi sbalzi, pilastri in falso e travi di luce oltre i 20 m).

22.3.5.1 Proprietà dello spettro

Nome: l'etichetta identificativa dello spettro corrente.

▼ Dati spettro

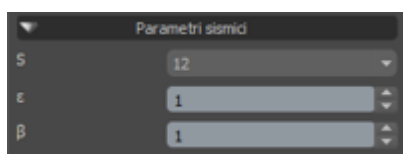
N. punti: numero di punti dello spettro.

T max (s): valore massimo del periodo in secondi.

Il tasto Visualizza mostra la rappresentazione tabellare della curva dello spettro le cui colonne riportano rispettivamente i valori del periodo e dell'accelerazione. Il tasto Ricalcola aggiorna i valori della rappresentazione dello spettro in funzione delle proprietà modificate.

Qualora fosse attivo il controllo Ricalcolo automatico *la pressione del tasto* Ricalcola *sarebbe superflua.*

▼ Anteprima

Mostra l'anteprima grafica della rappresentazione dello spettro come diagramma sul piano (T, a/g).

22.3.5.1.1 Proprietà D.M. 96

normativa D.M. 96

▼ Parametri sismici

S: grado di sismicità. Può assumere i valori 5, 6, 9 o 12.

La normativa sulle costruzioni in zona sismica (D.M. LL.PP. 16 gennaio 1996) suddivideva il territorio nazionale nelle seguenti zone sismiche:

- zona di I categoria ($S = 12$)
- zona di II categoria ($S = 9$)
- zona di III categoria ($S = 6$)
- zona non classificata.

Limitatamente alle costruzioni ordinarie presenti nei siti ricadenti in zona 4, quella che sull'intero territorio nazionale presenta il minor rischio sismico, la norma consente l'utilizzo della "vecchia" metodologia di calcolo alle tensioni ammissibili di cui al D.M. 16 gennaio 1996, ma obbliga comunque a tenere conto dell'azione sismica con l'assunzione di un grado di sismicità convenzionale $S = 5$.

ϵ: coefficiente di fondazione. Si assume di regola $\epsilon = 1$. In presenza di stratigrafie caratterizzate da depositi alluvionali di spessore variabile da 5 a 20 metri, soprastanti terreni coesivi o litoidi con caratteristiche meccaniche significativamente superiori, si assumerà per il coefficiente ϵ: il valore 1.3. Vedi § C.6.1.1 del [DM96, 1996].

β: coefficiente di struttura. Si assume di regola pari ad 1; nel caso in cui nella struttura dell'edificio vi siano telai ed elementi irrigidenti verticali e su questi ultimi prevalentemente si distribuiscano le azioni orizzontali, si assume: $\beta = 1.2$. Vedi § C.6.1.1 del [DM96, 1996].

22.3.5.1.2 Proprietà D.P.C.M. 3274

Ordinanza D.P.C.M. 3274

▼ Terreno e topografia

Zona sismica: divide il territorio nazionale in zone sismiche, ciascuna contrassegnata da un diverso valore del parametro a_g, accelerazione orizzontale massima su suolo di categoria A (definito al punto § 3.1 delle [OPCM3274, 2003], allegato 2), con probabilità di superamento del 10% in 50 anni.

Ag(*g): accelerazione orizzontale massima al suolo. I valori di a_g, espressi come frazione dell'accelerazione di gravità g, da adottare in ciascuna delle zone sismiche del territorio nazionale sono espresse dalla tabella 22.13 nella pagina successiva, salvo più accurate determinazioni, che possono portare a differenze comunque non superiori al 20% dell'accelerazione per le zone 1 e 2 e non superiori a 0.05 g nelle altre zone.

Categoria suolo: categoria di profilo stratigrafico del suolo di fondazione. Nella tabella 22.14 a fronte sono riportate le sigle e le corrispondenti tipologie di terreni.

Tabella 22.13 – Valori di Ag(*g) in base alle zone sismiche

Zona	Valore di $a_g(*g)$
1	0.35
2	0.25
3	0.15
4	0.05

Tabella 22.14 – Categorie del suolo

Categoria	Descrizione
A	Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi
B	Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti
C	Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate, o di argille di media consistenza
D	Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti
E	Profili di terreno costituiti da strati superficiali alluvionali

S: coefficiente dipendente dalla categoria del profilo stratigrafico del suolo di fondazione. Modificando la *Categoria suolo* si aggiornerà automaticamente il suo valore. C'è comunque la possibilità di impostarlo numericamente nei casi in cui una legge regionale imponga un valore diverso dal predefinito. Ad esempio la regione Molise ha introdotto per il terreno di categoria B un coefficiente $S = 1.6$ al posto di 1.25.

St: coefficiente di amplificazione topografica. Per strutture in prossimità di pendii e con coefficienti di importanza superiori ad 1, assume valori 1.2 o 1.4 a seconda della pendenza del pendio.

Viene effettuato un controllo per cui il coefficiente di amplificazione topografica S_t sia tale che il prodotto $S_t\ S \leq 1.6$.

η: fattore che tiene conto di uno smorzamento viscoso equivalente ξ, espresso in punti percentuali, diverso da 5 ($\eta = 1 \Rightarrow \xi = 5$): $\eta = \sqrt{10/(5+\xi)} \geq 0.55$. Vedi punto § 3.2.3 della [OPCM3274, 2003], allegato 2.

▼ Tipologia strutturale

Tipo struttura: consente di specificare il tipo di costruzione tra *Cemento armato*, *Muratura*, *Acciaio* e *Prefabbricato* necessario per la determinazione del coefficiente q_0, che contribuisce al calcolo del coefficiente di struttura q.

Tipologia edificio: permette di scegliere il tipo di edificio per determinare il rapporto α_μ/α_1 (vedi tabella 22.15).

$\alpha\mu/\alpha 1$**:** rapporto tra i moltiplicatori della forza sismica orizzontale. Il valore di α_μ/α_1 può essere calcolato per mezzo di un'analisi statica non lineare e non può in ogni caso essere assunto superiore a 1.5. Qualora non si proceda ad un'analisi non lineare per la valutazione di α_μ/α_1, fare riferimento alla tabella 22.15 che lega il rapporto alla *Tipologia edificio*.

Tabella 22.15 – Rapporto α_μ/α_1 in base alla tipologia dell'edificio

Tipologia edificio	**Valore di** α_μ/α_1
edifici a telaio di un piano	1.1
edifici a telaio a più piani, con una sola campata	1.2
edifici a telaio con più piani e più campate	1.3
edifici a pareti non accoppiate	1.1
edifici a pareti accoppiate o miste telaio-pareti	1.2

Tipologia strutturale: permette di scegliere il tipo strutturale per l'edificio per determinare il coefficiente q_0 (vedi tabella 22.16 nella pagina successiva).

$q0(*\alpha\mu/\alpha 1)$**:** coefficiente per il calcolo del fattore di struttura $q = q_0\, K_D\, K_R$. Nella tabella 22.16 a fronte sono riportati i valori in base alla *Tipologia strutturale*.

Membrature: [7]definisce la tipologia tra *Duttili*, *Plastiche* o *Snelle* come indicato dal punto § 6.5.3.1 della [OPCM3274, 2003], allegato 2.

Classe di duttilità: definisce la classe di duttilità della struttura come Alta (CD"A") o Bassa (CD"B") per determinare il fattore K_D che entra in gioco nel fattore di struttura q.

[7]solo per *Tipo struttura*: Acciaio

Tabella 22.16 – Coefficiente q_0 in base alla tipologia strutturale

Tipologia strutturale	Valore di q_0
strutture a telaio	4.5 α_u/α_1
strutture a pareti	4.0 α_u/α_1
strutture miste telaio-pareti	4.0 α_u/α_1
strutture a nucleo	3.0

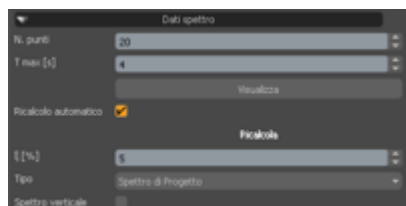
KD: fattore dipendente dalla duttilità. Vale 1.0 nel caso di classe di duttilità CD"A" e 0.7 nel caso di CD"B".

Regolarità in altezza: determina il coefficiente K_R che entra in gioco nel fattore di struttura q.

KR: fattore dipendente dalle caratteristiche di regolarità dell'edificio. Vale 1.0 nel caso di edifici regolari in altezza e 0.8 nel caso di edifici non regolari.

I valori riportati nelle tabelle 22.15 nella pagina precedente e 22.16 sono relativi alle strutture in cemento armato. Scegliendo un valore diverso per la proprietà Tipo struttura, *ad esempio* Acciaio, *si modificheranno a loro volta i valori delle proprietà strettamente dipendenti dalla nuova scelta.*

22.3.5.1.3 Proprietà N.T. 2008

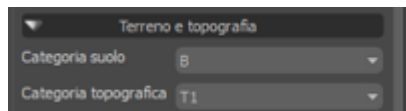
Norme Tecniche 2008

▼ Dati spettro

N. punti: numero di punti dello spettro.

T max (s): valore massimo del periodo in secondi.

ξ[%]: fattore di smorzamento viscoso (espresso in percentuale) valutato sulla base di materiali, tipologia strutturale e terreno di fondazione.

Esporta: imposta lo spettro corrente per un calcolo agli *SLU* (Spettro di progetto) o agli *SLE* (Spettro elastico).

Spettro verticale: se attivo considera lo spettro corrente come verticale anziché orizzontale. Si attiva se vogliono considerarsi gli effetti di un sisma verticale, ad esempio nel caso di strutture con pilastri "in falso", ecc.

▼ Terreno e topografia

Categoria suolo: individua categorie di sottosuolo di riferimento come indicato al punto § 3.2.2 delle [NTC, 2008].

Categoria topografica: classificazione delle condizioni topografiche per configurazioni superficiali semplici. Vedi § 3.2.2 delle [NTC, 2008].

▼ Tipologia strutturale

Tipo costruzione: consente di determinare la vita nominale della struttura.

Vn [anni]: vita nominale della struttura. È intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata. Vedi § 2.4.1 delle [NTC, 2008].

Classe d'uso: suddivide le costruzioni in presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso. Vedi § 2.4.2 delle [NTC, 2008].

Cu: coefficiente d'uso. Determina dalla vita nominale il periodo di riferimento per l'azione sismica. C_U dipende dalla *Classe d'uso*. Vedi § 2.4.3 delle [NTC, 2008].

Vr [anni]: periodo di riferimento per l'azione sismica. Si determina in base alla vita nominale e al coefficiente d'uso attraverso la formula: $V_R = C_U\ V_N$. Se $V_R \leq 35\ anni$ si pone comunque $V_R = 35\ anni$.

Struttura in: permette di discriminare il tipo di famiglia di struttura tra *Cemento armato*, *Acciaio*, *Muratura* o *Prefabbricato*. Questa scelta influenza i valori delle proprietà *Tipo edificio*, *Q0* e *Tipo struttura*.

Classe di duttilità: imposta la classe di duttilità della struttura tra CD"A" (Alta duttilità) o CD"B" (Bassa duttilità) per determinare il fattore K_D che entra in gioco nel fattore di struttura q.

Tipo di edificio: influenza il coefficiente di struttura q attraverso il massimo valore q_0 (vedi § 7.4.3.2 delle [NTC, 2008]). Propone opzioni diverse in base alla famiglia strutturale fissata attraverso la proprietà *Struttura in*.

Q0: è il valore massimo del fattore di struttura che dipende dal livello di duttilità attesa, dalla tipologia strutturale e dal rapporto α_μ/α_1. Vedi § 7.3.1 delle [NTC, 2008].

Tipo struttura: influenza il rapporto $\alpha\mu/\alpha 1$ in base al tipo di configurazione strutturale (telaio, a parete, ecc.). Vedi § 7.4.3.2 delle [NTC, 2008].

$\alpha\mu/\alpha 1$**:** rapporto tra il valore dell'azione sismica per il quale si verifica la formazione di un numero di cerniere plastiche tali da rendere la struttura labile e quello per il quale il primo elemento strutturale raggiunge la plasticizzazione a flessione.

Regolarità in altezza: permette di impostare se la struttura è regolare in altezza o meno. Le costruzioni devono avere, quanto più possibile, struttura iperstatica caratterizzata da regolarità in pianta e in altezza. Per comprendere se una costruzione è da considerarsi regolare in altezza fare riferimento al paragrafo § 7.2.2 delle [NTC, 2008].

Regolarità in pianta: se attivo indica che la struttura soddisfa tale requisito. Come per la proprietà precedente, il paragrafo § 7.2.2 [NTC, 2008] fornisce delle linee guida perchè una struttura sia ritenuta regolare in pianta, in particolare:

a) la configurazione in pianta è compatta e approssimativamente simmetrica rispetto a due direzioni ortogonali, in relazione alla distribuzione di masse e rigidezze;

b) il rapporto tra i lati di un rettangolo in cui la costruzione risulta inscritta è inferiore a 4;

c) nessuna dimensione di eventuali rientri o sporgenze supera il 25% della dimensione totale della costruzione nella corrispondente direzione;

d) gli orizzontamenti possono essere considerati infinitamente rigidi nel loro piano rispetto agli elementi verticali e sufficientemente resistenti.

Se necessario, i requisiti di regolarità possono essere conseguiti suddividendo la struttura, mediante giunti, in unità tra loro dinamicamente indipendenti.

KR: è un fattore riduttivo che dipende dalle caratteristiche di regolarità in altezza della costruzione, con valore pari ad 1 per costruzioni regolari in altezza e pari a 0.8 per costruzioni non regolari in altezza.

Kw: è un fattore riduttivo per q_0 per prevenire il collasso delle strutture a seguito della rottura delle pareti.

▼ Reticolo di riferimento

Comune: consente di impostare il comune di ubicazione della struttura. Il campo prevede l'autocompletamento che aggiorna il suo contenuto in base ai caratteri inseriti dall'utente permettendo di trovare rapidamente il comune cercato.

Isola: come per il campo precedente ma previsto nel caso di ubicazione della costruzione nelle isole.

Coordinate [°]: permette l'inserimento diretto delle coordinate attraverso longitudine e latitudine.

Il tasto Cerca con Google(Tm) consente di specificare l'ubicazione in maniera più precisa sfruttando le possibilità offerte da **GoogleMaps**®. Cliccando sul tasto, infatti, si accederà alla finestra *Soft.Lab Maps Searcher*, di figura 22.28, dove sarà possibile inserire un indirizzo stradale per reperire automaticamente le coordinate corrispondenti.

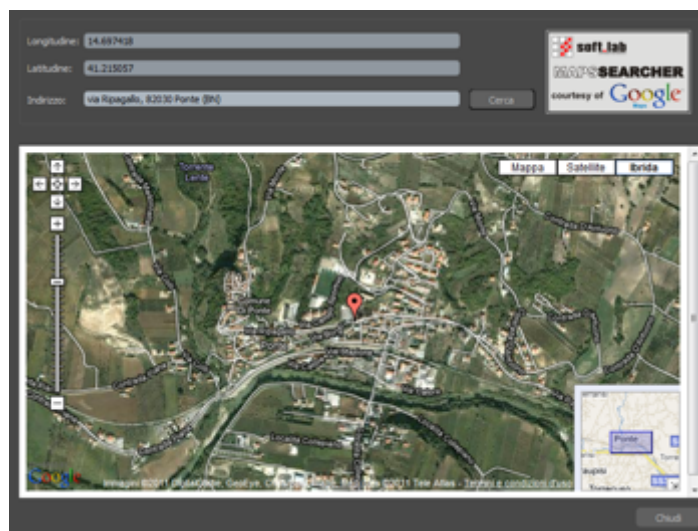



Figura 22.28 – Ricerca delle coordinate attraverso un indirizzo

▼ Stato limite ultimo

SLU: consente di scegliere il tipo di stato limite ultimo tra *SLV* (salvaguardia della vita) e *SLC* (collasso). Seguono le due definizioni come riportato nel § 3.2.1 [NTC, 2008]:

- **Stato Limite di salvaguardia della Vita** (SLV): a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidezza per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;

- **Stato Limite di prevenzione del Collasso** (SLC): a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

Pvr [%]: probabilità di superamento nel periodo di riferimento (V_R), definita nella § 3.2.1 [NTC, 2008], in base al valore scelto per la proprietà *SLU*. Nel caso di SLV si attesta al 10%, nel caso di SLC al 5%.

Tr [anni]: periodo di ritorno dell'azione sismica. Fissata la vita di riferimento V_R, il periodo di ritorno è espresso, in funzione di P_{V_R} dalla formula:

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1 - P_{V_R})}$$

(vedi Allegato A [NTC, 2008]).

A_g/g**:** è il rapporto tra l'accelerazione massima del terreno A_g e l'accelerazione di gravità g.

T_C^***:** periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale, definito nel § 3.2 [NTC, 2008].

F: valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione nelle componenti orizzontale e verticale.

S_S**:** coefficiente di amplificazione stratigrafica nelle componenti orizzontale e verticale. Per sottosuolo di categoria A assume valore unitario. Vedi Tab. 3.2.V § 3.2.3.2.1 [NTC, 2008]

S_T**:** coefficiente di amplificazione topografica nelle componenti orizzontale e verticale. Vedi Tab. 3.2.VI § 3.2.3.2.1 [NTC, 2008]

C_C**:** coefficiente funzione della categoria di sottosuolo. Come S_S, per sottosuolo di categoria A assume valore unitario.

T_B**:** è il periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante, nelle componenti orizzontale e verticale. $T_B = T_C/3$.

T_C**:** è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro, nelle componenti orizzontale e verticale, dato da:

$$T_C = C_C \cdot T_C^*$$

T_D**:** è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a spostamento costante dello spettro, nelle componenti orizzontale e verticale, espresso in secondi mediante la relazione:

$$T_D = 4,0 \cdot \frac{a_g}{g} + 1,6$$

q: fattore di struttura nelle due componenti orizzontale e verticale.

▾ Stato limite d'esercizio

SLE: consente di scegliere il tipo di stato limite di esercizio tra *SLO* (operatività) e *SLD* (danno). Seguono le due definizioni come riportato nel § 3.2.1 [NTC, 2008]:

- **Stato Limite di Operatività** (SLO): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;

- **Stato Limite di Danno** (SLD): a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

Per le altre proprietà si faccia riferimento alla sezione relativa allo Stato limite ultimo a pag. 354.

22.3.5.1.4 Proprietà N.T. 2008 per isolatori

Norme Tecniche 2008 per isolatori

Le proprietà dello spettro sono coincidenti con quelle relative al paragrafo [Proprietà N.T. 2008], § 22.3.5.1.3 a pagina 350, in aggiunta compare la sezione seguente.

▼ Struttura isolata

ξ_{is} [%]: smorzamento viscoso dell'isolatore elastomerico.

T_{0is} [s]: periodo, in secondi, oltre il quale si considera l'effetto dello smorzamento; in genere assume il valore $0.8 \cdot T_{is}$ dove T_{is} rappresenta il periodo equivalente della costruzione isolata.

Q: fattore di riduzione dello spettro SLU.

22.4 Generali

22.4.1 Sezioni armate

Figura 22.29 – Gestore delle sezioni armate

Il gestore di figura 22.29 organizza le sezioni armate per il calcestruzzo.

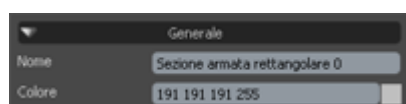
Queste vengono adoperate nella verifica di elementi in calcestruzzo nel caso di strutture esistenti dove si conosce la configurazione delle armature per le aste (pilastri e travi) o per eseguire verifiche senza il predimensionamento da parte di **IperSpace MAX®**.

La creazione o selezione di una sezione armata permette di definire o modificare una serie di proprietà come il copriferro, il numero e i diametri dei ferri longitudinali degli elementi monodimensionali (pilastri e travi) cui va applicata la sezione. I ferri trasversali come le staffe si specificano, invece, nella procedura di inserimento dell'[Armatura], § 19.3.1 a pagina 282.

Le sezioni sono raggruppabili in quattro categorie distinte che sono:

- Sezione armata rettangolare
- Sezione armata circolare
- Sezione armata a L
- Sezione armata a T

Come tutti gli elementi di libreria, sono costituiti da proprietà, raggiungibili mediante il gestore apposito, organizzate per categorie; alcune sono legate strettamente al tipo di normativa, che viene scelta nelle proprietà del calcolo, e dunque sono prese in considerazione solo se appartengono a quel tipo di norma. Altre sono invece indipendenti dalla normativa.

22.4.1.1 Proprietà della sezione armata

Nome: l'etichetta identificativa della sezione armata corrente.

Colore: definisce il colore dell'anteprima della sezione armata corrente.

22.4.2 Criteri di verifica

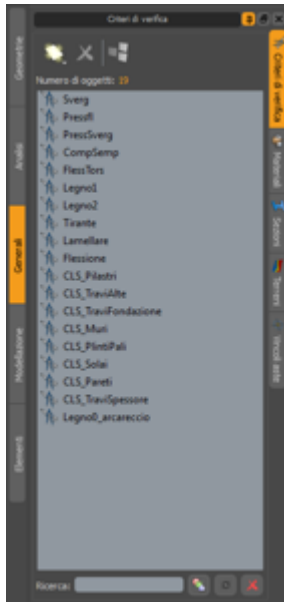



Figura 22.30 – Gestore dei criteri di verifica

Nel gestore di figura 22.30 sono organizzati i criteri di verifica[8], distinti per tipologia di elementi: *Cls*, *Acciaio* e *Legno*.

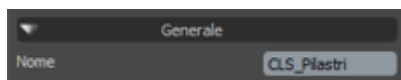
I criteri entrano in gioco nelle verifiche degli elementi strutturali e sono assegnati, come proprietà degli stessi, nelle fasi di creazione potendo essere, comunque, modificati in qualsiasi momento.

Come tutti gli elementi di libreria, sono costituiti da proprietà, raggiungibili mediante il gestore apposito, organizzate per categorie; alcune sono legate strettamente al tipo di normativa, che viene scelta nelle proprietà del calcolo, e dunque sono prese in considerazione solo se appartengono a quel tipo di norma. Altre sono invece indipendenti dalla normativa.

IperSpace MAX® prevede i seguenti tipi di criteri di verifica:

- Cls per pilastri
- Cls per travi
- Cls per muri
- Cls per pali
- Cls per plinti
- Acciaio
- Legno

Il prototipo di **IperSpace MAX**®, relativo a strutture in cemento armato, propone numerosi criteri di verifica ognuno dei quali è associato ad un elemento specifico; ad esempio, il criterio *Cls per travi* si specializza nei tre criteri: *CLS_TraviAlte*, *CLS_TraviSpessore* e *CLS_TraviFondazione* a seconda, dunque, del tipo di elemento "trave" da verificare.

22.4.2.1 Proprietà del criterio di verifica

Nome: l'etichetta identificativa del criterio di verifica corrente.

[8]Nelle versioni precedenti alla 3 erano denominati "Criteri di progetto".

22.4.2.1.1 Proprietà Cls per pilastri

Criterio di verifica per pilastri in cls

Rck [Kg/cmq]: resistenza cubica caratteristica del calcestruzzo.

fyk [Kg/cmq]: tensione caratteristica di snervamento dell'acciaio per cemento armato (in genere B450A o B450C).

ε_{c0}**:** deformazione unitaria nel diagramma $\sigma - \varepsilon$ del calcestruzzo.

ε_{cu}**:** deformazione ultima nel diagramma $\sigma - \varepsilon$ del calcestruzzo.

ε_{fu} **(solo incrudimento):** deformazione di incrudimento nel diagramma $\sigma - \varepsilon$ del calcestruzzo.

E_{acc} **[Kg/cmq]:** modulo elastico per l'acciaio.

Copriferro calcolo [cm]: spessore di copriferro considerato nella fase di calcolo.

Copriferro disegno [cm]: spessore di copriferro adottato nel disegno dell'elemento.

γ_{cls}**:** coefficiente di sicurezza per il calcestruzzo.

γ_{acc}**:** coefficiente di sicurezza per l'acciaio.

Riduzione f_{cd}**:** coefficiente di riduzione della resistenza di calcolo.

Staffe min di normativa: se attivo utilizza staffe minime di normativa.

Staffe min di normativa fondazione: come il precedente ma valido per le travi di fondazione.

Calcolo automatico $\cot\Theta$**:** se attivato calcola automaticamente il valore di $\cot\Theta$.

$\cot\Theta$**:** cotangente dell'angolo Θ inteso come angolo di inclinazione delle bielle, di calcestruzzo, compresse rispetto all'asse dell'asta.

Modello incrudente acciaio: se attivo considera per l'acciaio il modello con incrudimento. Vedi § 7.4.4.2.1 [NTC, 2008].

E_y/E_0: rapporto modulo elastico per l'acciaio.

Elemento esistente: se attivato mostra la sezione seguente appositamente destinata alle costruzioni esistenti.

▼ Generici N.T. Elementi esistenti

R_{cm} **[Kg/cmq]:** resistenza cubica media del calcestruzzo.

f_{ym} **[Kg/cmq]:** resistenza media dell'acciaio.

Fattore confidenza: vedi § 8.5.4 [NTC, 2008].

Applica fattori q: se attivo consente di specificare i due parametri seguenti.

q dutttili: coefficiente di struttura per gli elementi duttili.

q fragili: coefficiente di struttura per gli elementi fragili.

▼ Generici D.M. 96 T.A.

σ_c **[Kg/cmq]:** tensione ammissibile.

σ_c **trazione [Kg/cmq]:** tensione ammissibile in trazione.

σ_c **acc [Kg/cmq]:** tensione ammissibile per l'acciaio.

τ_{c0} **[Kg/cmq]:** tensione tangenziale ammissibile.

τ_{c1} **[Kg/cmq]:** tensione tangenziale massima.

Il pulsante Calcola valori determina automaticamente le proprietà precedenti ricavandole dai valori di Rck e fyk.

▼ Fessurazioni

Lo stato limite di fessurazione deve essere fissato in funzione delle condizioni ambientali e della sensibilità delle armature alla corrosione.

Nessuna fessurazione: se attivo l'elemento non prevede alcuna verifica alla fessurazione.

Verifica a decompressione: prevede lo stato limite di decompressione nel quale, per la combinazione di azioni prescelta, la tensione normale è ovunque di compressione ed al più uguale a 0. Vedi § 4.1.2.2.4 [NTC, 2008].

Verifica formazione fessure: prevede lo stato limite di formazione delle fessure, nel quale, per la combinazione di azioni prescelta, la tensione normale di trazione nella fibra più sollecitata è:

$$\sigma_t = \frac{f_{ctm}}{1,2}$$

dove f_{ctm}, resistenza media a trazione semplice (assiale), è definita nella § 11.2.10.2 [NTC, 2008];

f_{cfk} [Kg/cmq]: resistenza a trazione semplice.

Verifica apertura fessure: prevede lo stato limite di apertura delle fessure, nel quale, per la combinazione di azioni prescelta, il valore limite di apertura della fessura calcolato al livello considerato è pari ad uno dei seguenti valori nominali:

- w_1 = 0,2 mm
- w_2 = 0,3 mm
- w_3 = 0,4 mm

Classe esposizione: tiene conto delle condizioni ambientali ai fini della protezione contro la corrosione delle armature metalliche. Sono definite, in funzione delle condizioni ambientali, nella Tabella 4.1.III della § 4.1.2.2.4.3 [NTC, 2008].

Tipo armatura: sensibilità delle armature alla corrosione. Vedi § 4.1.2.2.4.4 [NTC, 2008].

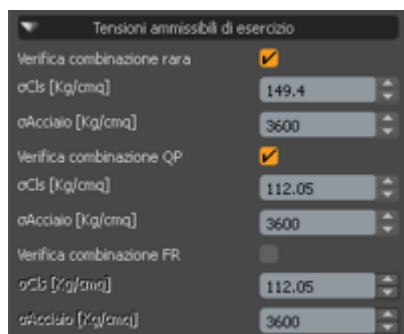
Combinazione rara: se attivo considera la combinazione rara.

w_{amm} **[mm]:** ampiezza di apertura fessurazione ammissibile per combinazione rara. Vedi Tabella 4.1.IV della § 4.1.2.2.4.5 [NTC, 2008].

Combinazione QP: se attivo considera la combinazione quasi permanente.

w_{amm} **[mm]:** ampiezza di apertura fessurazione ammissibile per combinazione quasi permanente.

Combinazione freq.: se attivo considera la combinazione frequente.

w_{amm} **[mm]:** ampiezza di apertura fessurazione ammissibile per combinazione frequente.

▼ Tensioni ammissibili di esercizio

Verifica combinazione rara: se attivo esegue la verifica per combinazione rara.

σ**Cls [Kg/cmq]:** tensione calcestruzzo per combinazione rara.

σ**Acciaio [Kg/cmq]:** tensione acciaio per combinazione rara.

Verifica combinazione QP: se attivo esegue la verifica per combinazione quasi permanente.

σ**Cls [Kg/cmq]:** tensione calcestruzzo per combinazione quasi permanente.

σ**Acciaio [Kg/cmq]:** tensione acciaio per combinazione quasi permanente.

Verifica combinazione FR: se attivo esegue la verifica per combinazione frequente.

σ**Cls [Kg/cmq]:** tensione calcestruzzo per combinazione frequente.

σ**Acciaio [Kg/cmq]:** tensione acciaio per combinazione frequente.

▼ Coefficienti omogeneizzazione

Acciaio - Cls compresso: coefficiente di omogeneizzazione per valutare la rigidezza elastica della sezione nella quale il calcestruzzo è sollecitato da sforzi di compressione. Vedi § 7.6.3 [NTC, 2008].

Cls teso - Cls compresso: rapporto tra il calcestruzzo teso e quello compresso.

▼ Armatura

N max ferri spigolo: massimo numero di ferri longitudinali in ogni spigolo.

D ferri spigolo [mm]: diametro dei ferri di spigolo.

D ferri laterali [mm]: diametro dei ferri laterali.

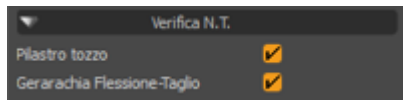
Rapporto min armatura/cls [%]: valore minimo in percentuale dell'armatura rispetto al calcestruzzo.

Rapporto max armatura/cls [%]: valore massimo in percentuale dell'armatura rispetto al calcestruzzo.

▼ Verifica

Carico di punta: se attivato effettua la verifica a carico di punta.

Pressoflessione deviata: se attivato effettua la verifica per pressoflessione deviata.

Verifica come pareti: se attivato verifica le pilastrate come pareti.

▼ Verifica N.T.

Pilastro tozzo: se attivato calcola le staffe scegliendo il valore minore del taglio tra quello di calcolo e quello di normativa $T(q{=}1)$.

Gerarchia Flessione-Taglio: attiva la gerarchia delle resistenze per flessione-taglio.

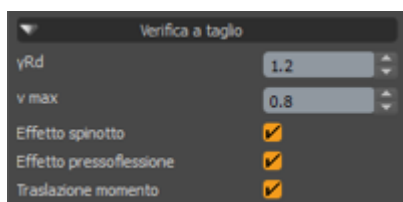
Indicato con T_{gr} il taglio che scaturisce dalla gerarchia delle resistenze e con $T(q{=}1)$ il taglio massimo che si avrebbe sull'elemento con il calcolo SLU(q=1), quindi con spettro elastico, se è attivato il check *Gerarchia Flessione-Taglio* si ha per le travi:

$$T_{gr} = Q \cdot l/2 + G_{rd}(M_{rs} + M_{rd})/l_t$$

e per i pilastri:

$$T_{gr} = G_{rd}(M_{rs} + M_{ri})/l_p$$

Se dunque è attivo il check *Pilastro tozzo* **IperSpace MAX**® calcola le staffe scegliendo il valore minore tra i tagli T_{gr} e $T(q{=}1)$. Si può ritenere con buona approssimazione che sia $T(q{=}1) = T_c \cdot q$, dove T_c è il taglio di calcolo e q il fattore di struttura.

Qualora il check non fosse attivo la verifica a taglio verrà eseguita sempre con $T = T_{gr}$ e in certi casi potrebbe risultare molto più penalizzante.

▼ Verifica a taglio

γ_{Rd}**:** coefficiente di amplificazione per verifiche a taglio.

ν_{max}**:** sforzo normale ammissibile $N_{pil}/(f_{cd} \cdot A)$.

Effetto spinotto: se attivato applica il contributo del taglio per effetto degli spinotti.

Effetto pressoflessione: se attivato applica il contributo della pressoflessione.

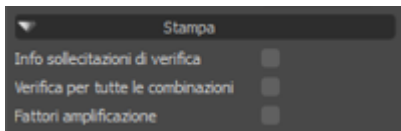
Traslazione momento: se attivato tiene conto della traslazione del momento.

▼ Verifica a taglio N.T.

$\gamma_{Rd}(CDA)$**:** coefficiente di amplificazione per verifiche a taglio per strutture ad alta duttilità.

$\gamma_{Rd}(CDB)$**:** coefficiente di amplificazione per verifiche a taglio per strutture a bassa duttilità.

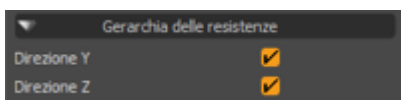
$\nu_{max}(CDA)$**:** sforzo normale ammissibile per strutture ad alta duttilità.

$\nu_{max}(CDB)$**:** sforzo normale ammissibile per strutture a bassa duttilità.

▼ Stampa

Info sollecitazioni di verifica: stampa informazioni sulle sollecitazioni di verifica.

Verifica per tutte le combinazioni: stampa la verifica per tutte le combinazioni di carico.

Fattori amplificazione: stampa i fattori di amplificazione.

Per evitare una grossa mole di dati, nelle stampe ai fini delle relazioni, nella maggioranza dei casi, è consigliabile lasciare non attivo il controllo Verifica per tutte le combinazioni.

▼ Gerarchia delle resistenze

Direzione Y: attiva la gerarchia delle resistenze solo in direzione Y (nel riferimento locale dell'asta).

Direzione Z: attiva la gerarchia delle resistenze solo in direzione Z (nel riferimento locale dell'asta).

22.4.3 Materiali

Figura 22.31 – Gestore dei materiali

Il gestore di figura 22.31 raccoglie i materiali adoperati da **IperSpace MAX**® da associare agli elementi strutturali.

Normalmente all'apertura del software sono già disponibili dei materiali predefiniti.

Questi sono organizzati in categorie che ne definiscono la famiglia; a prescindere dalla tipologia di materiale è possibile definire una serie di proprietà fisiche che lo caratterizzano come il peso specifico, il modulo di Young, il coefficiente lineare di dilatazione termica, ecc.

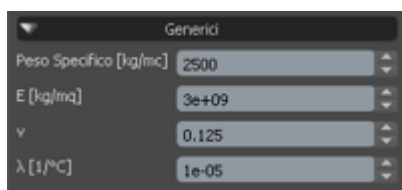
Ciò permette di definire qualsiasi materiale isotropo[9].

Allo stato attuale **IperSpace MAX**® prevede quattro diverse famiglie di materiali ma nel caso siano presenti moduli aggiuntivi il numero potrebbe variare. Ad esempio, installando il modulo per la verifica delle murature **inSide**®, figurerebbe anche la famiglia *Materiale Murature*.

In definitiva le famiglie predefinite sono:

- Materiale isotropo
- Materiale isotropo Cls
- Materiale isotropo Acciaio
- Materiale isotropo Legno

22.4.3.1 Proprietà del materiale

Nome: l'etichetta identificativa del materiale corrente.

Peso specifico [Kg/mc]: peso per unità di volume.

E [Kg/mq]: modulo di elasticità longitudinale (modulo di Young).

[9] Materiale le cui caratteristiche fisiche sono indipendenti dalla direzione spaziale

ν: modulo (o coefficiente) di Poisson, rapporto tra la deformazione trasversale e la deformazione longitudinale.

λ **[1/°C]:** coefficiente di dilatazione termica lineare.

22.4.4 Sezioni

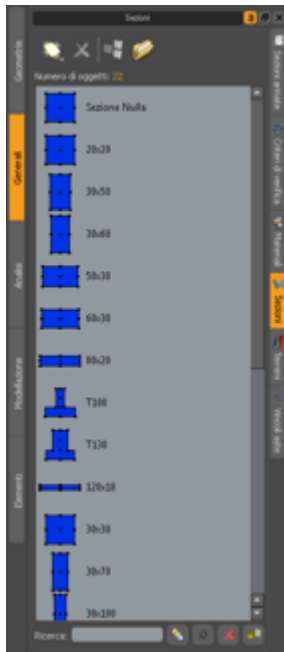



Figura 22.32 – Gestore delle sezioni

Il gestore delle sezioni raccoglie i profili utilizzati dagli elementi monodimensionali di **Iper-Space MAX**® siano essi di calcestruzzo, acciaio o legno.

I profili presenti in libreria sono letti dal file di prototipo corrente e vengono salvati insieme a tutti i dati della struttura di progetto.

Eventualmente servissero sezioni non presenti in archivio è sempre possibile crearne di nuove attraverso parametri caratteristici che ne definiscano la geometria.

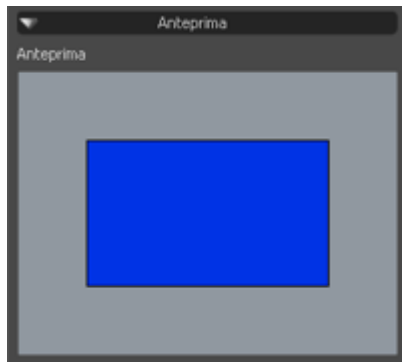
Inoltre c'è la possibilità di aggiungere altre sezioni attingendole da un archivio centralizzato (*Sezioni Explorer*) contenente oltre 4.600 sezioni, in acciaio e CLS, semplici e composte con le caratteristiche inerziali precalcolate. *Sezioni Explorer* è richiamabile dalla voce di menu [Visualizza], § 18.3.1 a pagina 259.

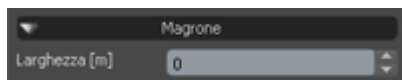
Il comando nuovo permette di creare una sezione appartenente alle seguenti categorie:

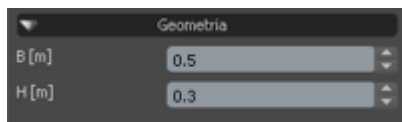
- Sezione rettangolare
- Sezione a T
- Sezione a L
- Sezione circolare
- Sezione generica

22.4.4.1 Proprietà della sezione rettangolare

▼ Generale

Nome: l'etichetta identificativa della sezione corrente.

▼ Anteprima

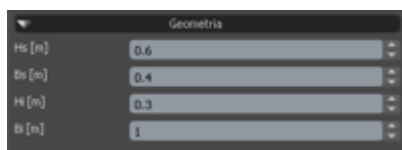
Anteprima: mostra la geometria della sezione corrente.

▼ Magrone

Larghezza [m]: permette di specificare la dimensione del magrone per sezioni da utilizzare in fondazione.

▼ Geometria

B [m]: specifica la larghezza della sezione.

H [m]: specifica l'altezza della sezione.

22.4.4.2 Proprietà della sezione a T

Per le proprietà di carattere generale fare riferimento alle [Proprietà della sezione rettangolare], § 22.4.4.1 nella pagina precedente.

▼ Geometria

H_s **[m]:** specifica l'altezza superiore della sezione quindi l'altezza netta della parte verticale.

B_s **[m]:** specifica la larghezza superiore della sezione dunque la dimesione trasversale della parte verticale.

H_i **[m]:** specifica l'altezza inferiore della sezione quindi l'altezza netta della base.

B_i **[m]:** specifica la larghezza inferiore della sezione dunque la dimensione trasversale della base.

22.4.4.3 Proprietà della sezione a L

Fare riferimento alle [Proprietà della sezione rettangolare], § 22.4.4.1 a pagina 367 e alle [Proprietà della sezione a T], § 22.4.4.2 a fronte.

22.4.4.4 Proprietà della sezione circolare

Per le proprietà di carattere generale fare riferimento alle [Proprietà della sezione rettangolare], § 22.4.4.1 a pagina 367.

▼ Geometria

r [m]: specifica il raggio della sezione circolare.

22.4.4.5 Proprietà della sezione generica

▼ Geometria

A [mq]: area della sezione generica.

I(X-Y) [m^4]: momenti d'inerzia rispetto gli assi principali X e Y.

I_t **[m^4]:** momento d'inerzia torsionale.

χ**(X-Y) [m^4]:** fattori di taglio rispetto agli assi principali X e Y.

Ingombro(B-H) [m]: dimensioni di base e altezza per l'ingombro rettangolare della sezione.

▼ Acciaio

t_w **[m]:** spessore dell'anima.

W(X-Y) [mc]: modulo di resistenza elastico relativo agli assi della sezione.

i(X-Y) [m]: raggio d'inerzia rispetto agli assi X e Y.

Curva d'instabilità: seleziona il tipo di curva d'instabilità.

I_w [m^6]: momento d'inerzia d'ingobbamento.

X_m [m]: va fornito, insieme al parametro precedente (I_w), solo per aste da verificare alla instabilità flesso-torsionale.

i(2-3) [m]: raggio d'inerzia rispetto agli assi principali 2 e 3.

W(2-3) [mc]: modulo di resistenza elastico relativo agli assi principali 2 e 3.

▼ Acciaio tralicci-calastrelli

L_1 [m]: interasse dei calastrelli. Questa proprietà va specificata, insieme alle sei successive, solo per aste composte, secondo quanto specificato nella normativa di riferimento, al § 7 del [CNR_10011-85, 1985].

i_{1min} [m]: raggio minimo d'inerzia della sezione del singolo elemento.

L_t [m]: interasse dei correnti.

L_d [m]: lunghezza della diagonale.

A [mq]: sezione complessiva di entrambi i correnti.

A_t [mq]: area della sezione del montante.

A_d [mq]: area della sezione del diagonale.

22.4.5 Terreni

Figura 22.33 – Gestore dei terreni

Nel gestore di figura 22.33 sono organizzati i terreni utilizzati per gli elementi di fondazione di **IperSpace MAX**® come travi alla Winkler, plinti, pali o platee.

La libreria consente di creare terreni diversi in base alle proprietà fisiche, come la costante di Winkler, e includono stratigrafie personalizzate con ulteriori proprietà per i singoli strati.

Questo tipo di gestione risulta molto utile in quanto consente, anche per gli elementi di una stessa fondazione, l'associazione di più tipologie di terreni permettendo una costruzione del modello di sottofondo quanto più aderente alla realtà.

22.4.5.1 Proprietà del terreno

Nome: l'etichetta identificativa del terreno corrente.

Costante di Winkler [kg/mq]: coefficiente di reazione del terreno (costante di sottofondo).

Stratigrafia: visualizza il dialogo delle proprietà della stratigrafia associata al terreno corrente. Vedi figura 22.34 nella pagina successiva.

La stratigrafia associata al terreno è costituita da un numero di strati variabile a discrezione dell'utente. Attraverso i tasti e è possibile aggiungere o eliminare uno o più strati. Le proprietà fisiche e geometriche di ogni strato sono:

Spessore [m]: l'altezza dello strato.

Peso specifico [t/mc]: il peso per unità di volume dello strato.

Angolo di attrito [°]: angolo di resistenza al taglio, funzione dell'attrito, della coesione e della forma dei granuli del terreno dello strato.

Coesione [t/mq]: forza con cui le particelle terrose sono legate fra loro e si oppongono al distacco.

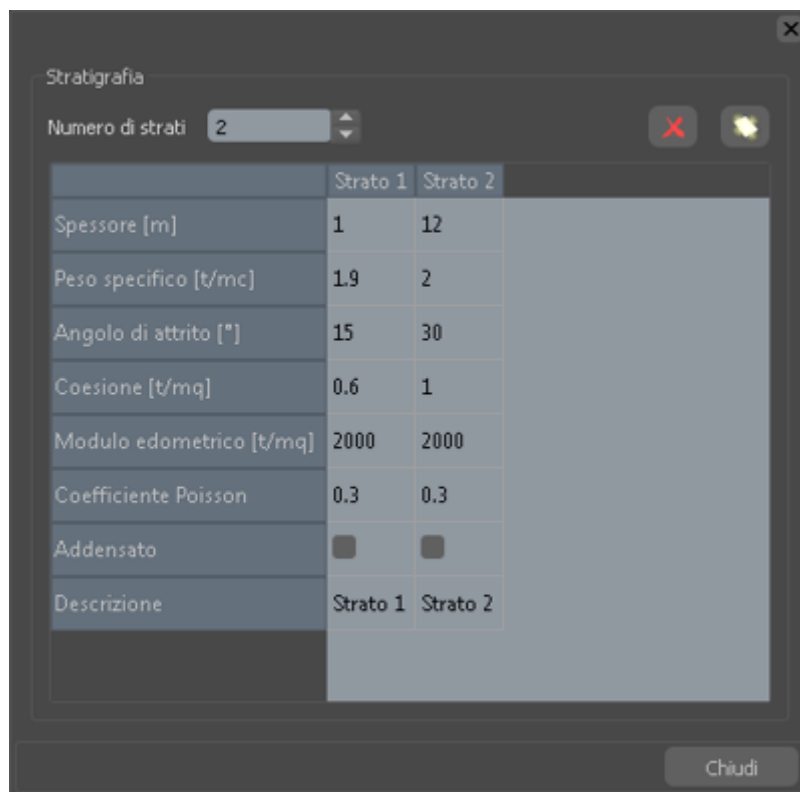



Figura 22.34 – Proprietà degli strati

Modulo edometrico[t/mq]: rapporto tra sforzo (compressione) e deformazione in condizioni di espansione laterale impedita.

Coefficiente Poisson: coefficiente di contrazione trasversale come rapporto tra deformazione trasversale e deformazione longitudinale.

Addensato: se attivo considera lo strato corrente come addensato.

Descrizione: etichetta identificativa dello strato.

22.4.6 Vincoli aste

22.5 Modellazione

22.5.1 Domini

22.5.2 Griglie

22.5.3 Immagini

22.5.4 Piani di lavoro

22.6 Elementi

22.6.1 Isolatori

22.6.2 Plinti

22.6.3 Solai

22.6.4 Classi di resistenza legno

Parte III

Tutorial

23 Introduzione

Questa parte del manuale costituisce un rapido aiuto nell'utilizzo del programma da parte degli utenti presentando dei casi di studio reali. Il presente tutorial è articolato in tre sezioni che rispecchiano sostanzialmente le novità introdotte dalla nuova versione di **IperSpace MAX**®:

Modellazione con potenzialità uniche che permettono di creare strutture complesse in maniera rapida. Nella sezione si esaminerà un caso reale e si accennerà a qualche tipo di struttura parametrica.

Meshing che risolve in maniera professionale ed inedita il problema del meshing per gli elementi strutturali bidimensionali tipo platee e/o piastre con integrazione degli elementi verticali, tipo muri o shell, eliminando i problemi dovuti alle congruenze multiple tra domini anche molto complessi. Nella sezione relativa sarà ripresa una struttura tipica e si esamineranno le modalità di meshing.

Calcolo che permette varie tipologie di analisi; nella sezione preposta si affronteranno problematiche legate al calcolo secondo le *Norme Tecniche 2008*.

23.1 Installare l'applicazione

Vedi [Installazione], § 15.2 a pagina 155.

23.2 Eseguire l'applicazione

Cliccare con il tasto sinistro del mouse sull'icona o equivalentemente dal menu Start ⊳ Programmi ⊳ IperSpaceMax4 scegliere la voce **IperSpaceMax4**. Una volta lanciato **IperSpace MAX**® apparirà la seguente interfaccia:

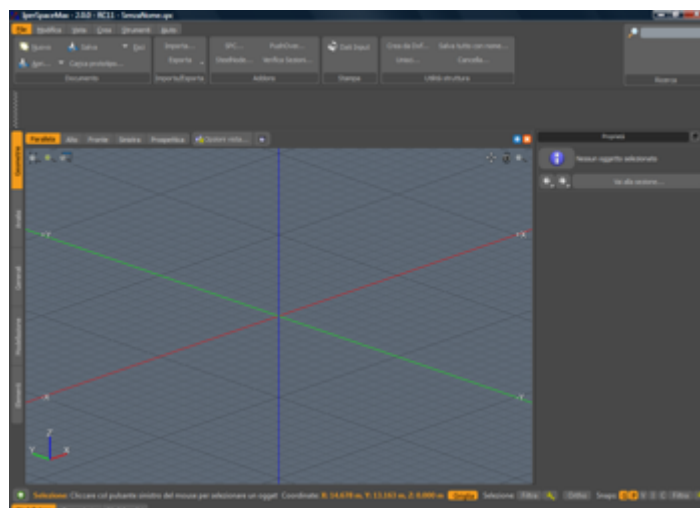



Figura 23.1 – Interfaccia

per il dettaglio si veda la [Interfaccia utente di IperSpace Max], § 15.4 a pagina 160.

24 Modellazione

Indice

In questa sezione si prenderà confidenza con l'interfaccia di **IperSpace MAX**®, si provvederà alla modellazione di un fabbricato per civile abitazione ed si esamineranno alcune delle potenzialità della nuova versione attraverso la modellazione, ad esempio, di strutture parametriche.

24.1 Modellazione da una pianta

Esistono vari sistemi per modellare una struttura in **IperSpace MAX**®, ma volendo seguire un'impostazione *ingegneristica* è possibile scegliere sostanzialmente due vie:

- Importare un file di supporto, solitamente **DXF**®, sul quale disegnare i pilastri e poi il resto della struttura

- Creare una maglia di nodi, nel piano globale XY, a cui agganciare i pilastri

Seguiremo, per ora, la prima soluzione; la seconda è perfettamente simile in quanto in entrambi i casi abbiamo qualcosa a cui agganciare i pilastri (vedi [Modellazione da maglia nodale], § 24.2 a pagina 408).

Con il comando [Importa], § 16.2.1 a pagina 187 selezionare il file **DXF**® rappresentante il piano tipo della struttura che si vuole modellare.

*Le unità di misura del file **DXF**® devono essere espresse in metri*

24.1.1 Importazione di una pianta

Importare la pianta

1. Scegliere la voce File ▷ Importa
2. Caricare il file **DXF**® `Imp_0_Fab.dxf` dal percorso `C:\Soft.Lab\IperSpaceMax4\Esempi\dxf`

*Il percorso dove reperire il file **DXF**® potrebbe essere diverso da quello indicato, in quanto dipende da dove è stato installato **IperSpace MAX**®; eventualmente, sostituire alla lettera identificativa dell'unità disco "C ", quella più appropriata.*

La pianta sarà caricata immediatamente nell'ambiente di **IperSpace MAX**®:

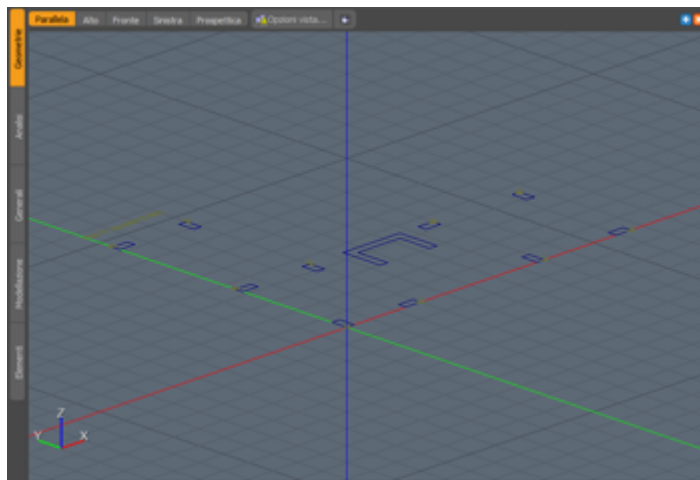



Figura 24.1 – Pianta DXF

Cliccare con il tasto sinistro del mouse sul tab Alto e premere lo *shortcut* a per ingrandire la pianta (vedi [Scorciatoie grafiche], § 15.5.2 a pagina 182):

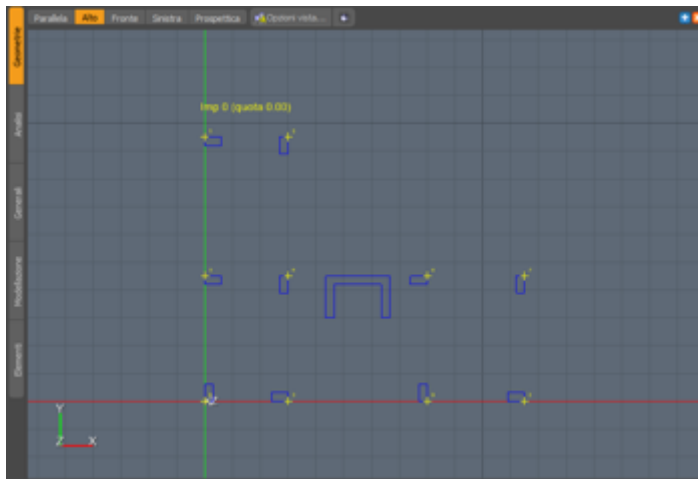



Figura 24.2 – Pianta DXF vista dall'alto

Disattivando il controllo Griglia si nasconderà la visualizzazione della griglia per meglio evidenziare gli oggetti della pianta.

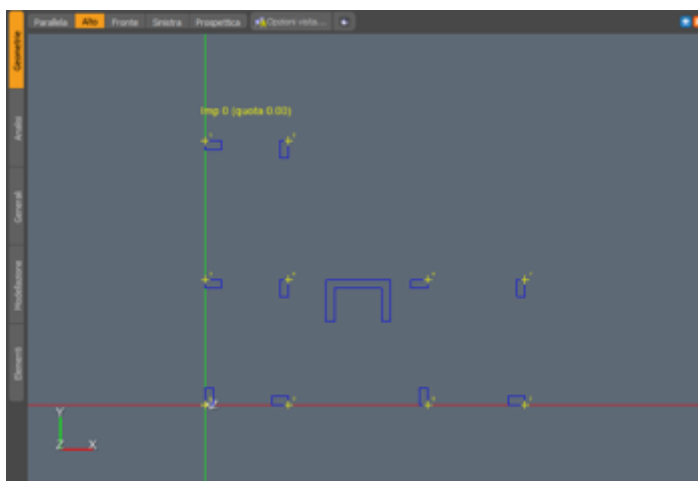



Figura 24.3 – Pianta DXF con griglia disabilitata

Per facilitare l'aggancio agli oggetti disabilitiamo attraverso il controllo G lo snap alla griglia, lasciando il solo snap al punto P (per il significato degli snaps vedere [Snaps], § 15.4.8.3 a pagina 179).

Nascondere la griglia non implica disattivare lo snap ad essa.

24.1.2 Inserimento dei pilastri

Conviene inserire prima i pilastri. **IperSpace MAX®** presenterà una sezione della libreria, con un vincolo, un materiale ed un criterio di verifica da assegnare al pilastro. Inoltre ci sarà la possibilità di assegnare l'altezza del pilastro per definire l'altezza dell'impalcato.

Inserire i pilastri

1. Cliccare su Crea ▷ [Pilastro], § 19.2.3 a pagina 268

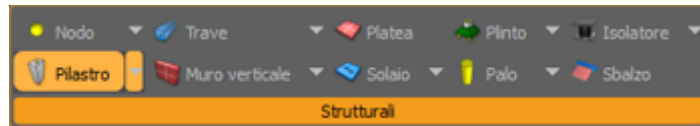



Figura 24.4 – Voce *Pilastro* del menu *Crea*

Interessante è il punto d'inserimento della sezione che diventa il *filo fisso* del pilastro. Come è possibile osservare dalla figura 24.5, sulla sezione, appaiono 9 punti di inserimento:

Figura 24.5 – Punti di inserimento della sezione

2. Scegliere la sezione *60x30* e cliccare con il tasto sinistro del mouse sul punto in alto a sinistra

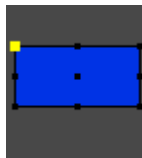



Figura 24.6 – Scelta del punto di inserimento

3. Portarsi nella finestra grafica e cliccare, in corrispondenza dei pilastri, sulla pianta:

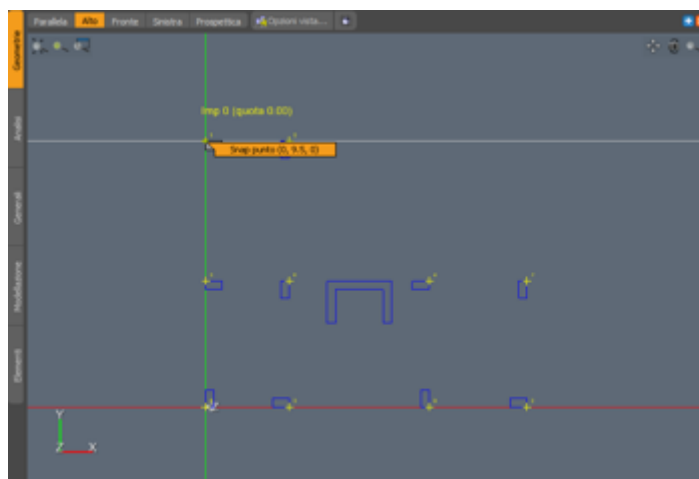



Figura 24.7 – Inserimento del pilastro

Non è importante l'ordine di inserimento dei pilastri

4. Completare l'inserimento dei pilastri di sezione *60x30* modificando ove richiesto il punto di aggancio:

Figura 24.8 – Completamento dell'inserimento dei pilastri 60x30

Per la modifica del punto di aggancio o si agisce nella barra di controllo sull'anteprima della sezione, figura 24.5 a fronte, o si premono da tastiera i tasti da 0 a 9 che identificano i fili fissi. Per i dettagli [Pilastro], § 19.2.3 a pagina 268.

Una volta inseriti tutti i pilastri di sezione *60x30*, si potrebbe scegliere la sezione *30x60*, agendo semplicemente sulla freccetta ▼ a fianco alla sezione corrente, e inserire i restanti pilastri.

Il tasto r , invece, permette, durante l'inserimento, di sfruttare la stessa sezione *60x30*, ruotandola di 90 gradi in senso antiorario. Nella figura 24.9 sono mostrate le configurazioni del pilastro per successive pressioni del tasto r .

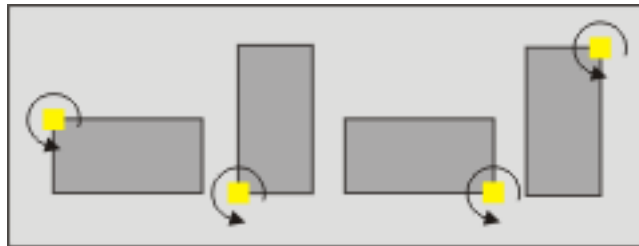



Figura 24.9 – Rotazione del pilastro

In questo modo modificando di volta in volta il solo filo fisso si completa velocemente l'inserimento adoperando una sola sezione, come mostrato in figura 24.10.

5. A questo punto, dunque, inserire i restanti pilastri con sezione ruotata:

Figura 24.10 – Completamento dell'inserimento dei pilastri 30x60

24.1.3 Inserimento dei muri

Una volta inseriti tutti i pilastri si passa all'inserimento degli shell o muri. Per i muri vanno specificate le seguenti proprietà:

- altezza: si sceglie uguale a quella dei pilastri esistenti nello stesso impalcato

- spessore, materiale, criteri di verifica e numero di pannelli: i pannelli in X devono essere pari
- il filo di inserimento (centrale, a filo destro o a filo sinistro)

Normalmente i programmi di calcolo considerano solo il filo centrale in quanto il loro solutore non gestisce i conci rigidi dei muri. ***IperSpace MAX®*** *invece tiene conto anche di queste possibilità e quindi è possibile inserire tranquillamente i muri con disassamento.*

Inserire i muri

1. Cliccare su Crea ⊳ [Muro], § 19.2.7 a pagina 274

Figura 24.11 – Voce *Muro verticale* del menu *Crea*

2. Scegliere il punto di aggancio inferiore:

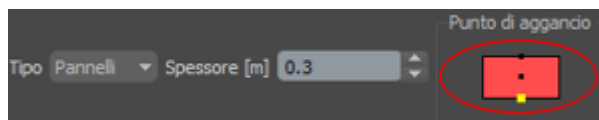



Figura 24.12 – Punto di aggancio inferiore

3. Portarsi nella finestra grafica ed inserire il primo muro sulla sinistra (relativo alla gabbia ascensore) fissando con due click successivi del mouse rispettivamente il primo ed il secondo estremo del muro:

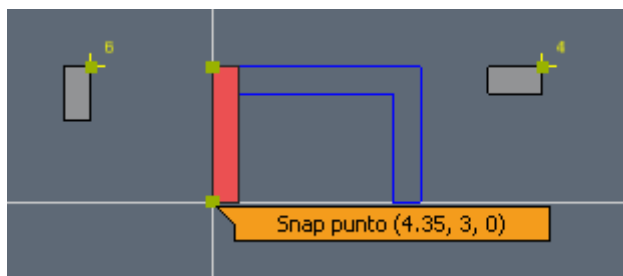



Figura 24.13 – Inserimento del primo muro

Per questo muro, inserito dall'alto verso il basso, il filo a sinistra risulta corretto.

4. Inserire gli altri due muri cambiando il lato di inserimento:

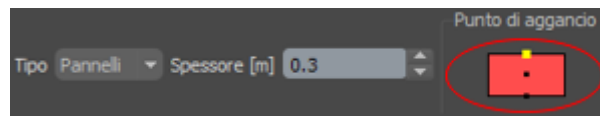



Figura 24.14 – Punto di aggancio superiore

5. Inserire il muro orizzontale da sinistra a destra e quello verticale (di destra) dall'alto verso il basso:

Figura 24.15 – Completamento dei muri

Una volta terminato l'inserimento dei muri la figura 24.16 mostra la situazione finale.

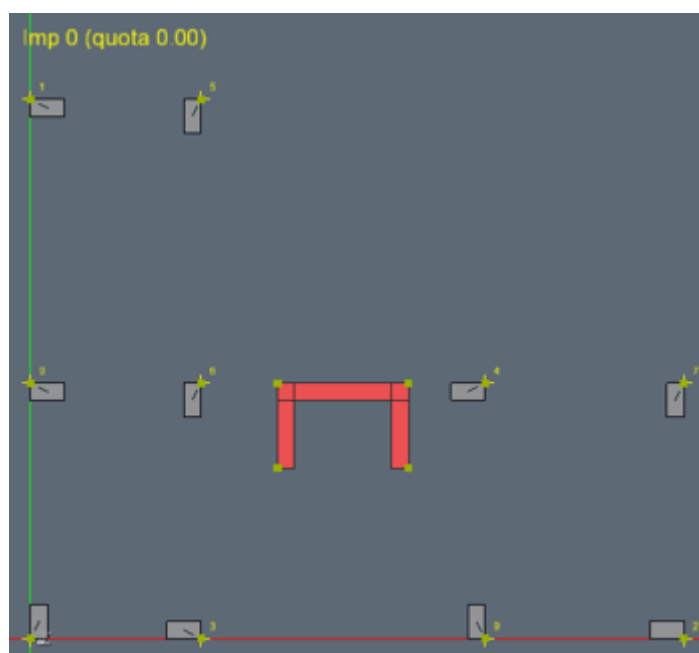



Figura 24.16 – Visione globale al termine dell'inserimento

24.1.4 Inserimento delle travi

Inserire le travi

1. Cliccare su Crea ▷ [Trave], § 19.2.5 a pagina 272

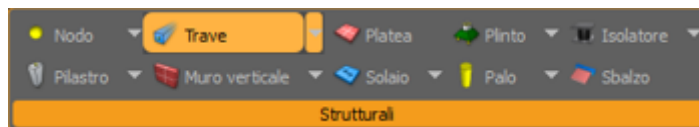



Figura 24.17 – Voce *Trave* del menu *Crea*

2. Scegliere il tipo *Trave*, la sezione *30x60* e il punto di inserimento, che normalmente è sempre uno dei 3 superiori in quanto le travi sono generalmente a raso con i solai:

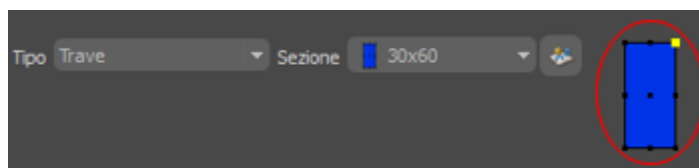



Figura 24.18 – Punto d'inserimento della trave

3. Portarsi nella finestra grafica e definire, con due click successivi del tasto sinistro del mouse, rispettivamente i punti di inizio e fine della prima trave (tra i pilastri in alto) come riportato in figura 24.19:

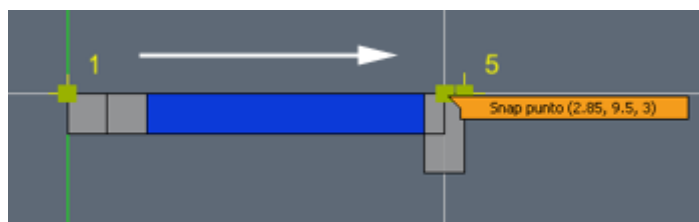



Figura 24.19 – Inserimento della prima trave

L'inserimento di una trave conviene che avvenga tra centro e centro pilastri. Nel caso in cui sia attivo il controllo Aggancia *, utile nell'inserimento continuo di una spezzata di travi, e si volesse interrompere l'inserimento premere il tasto* ⟻ .

4. Proseguire l'inserimento delle travi con punto di aggancio a destra:

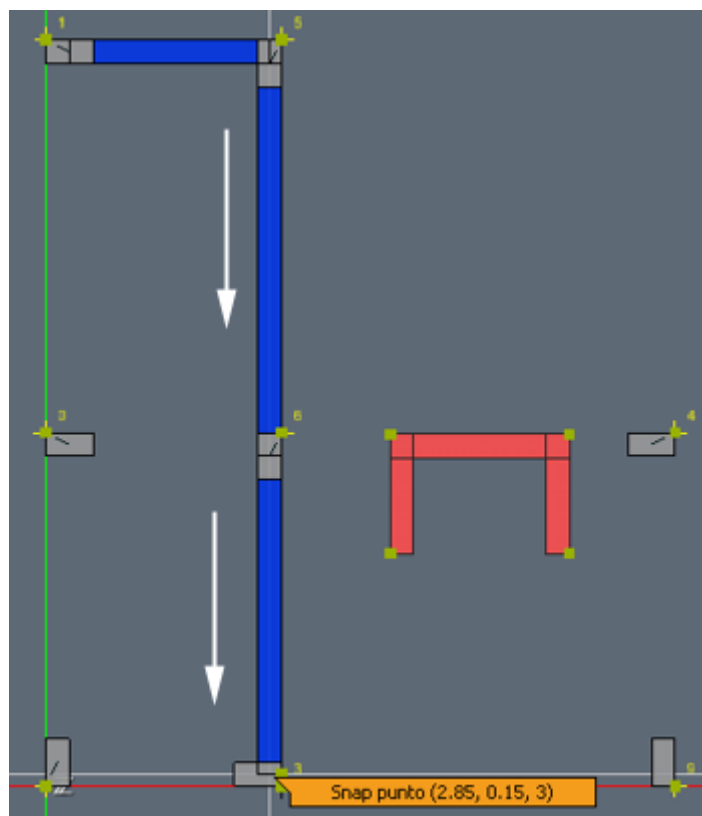



Figura 24.20 – Inserimento delle travi con punto di aggancio a destra

*In questa versione di **IperSpace MAX**® non è possibile inserire una travata in un'unica operazione in quanto non è ancora stata introdotta la possibilità di interruzione automatica della trave sui pilastri intercettati. In una prossima versione sarà disponibile tale caratteristica.*

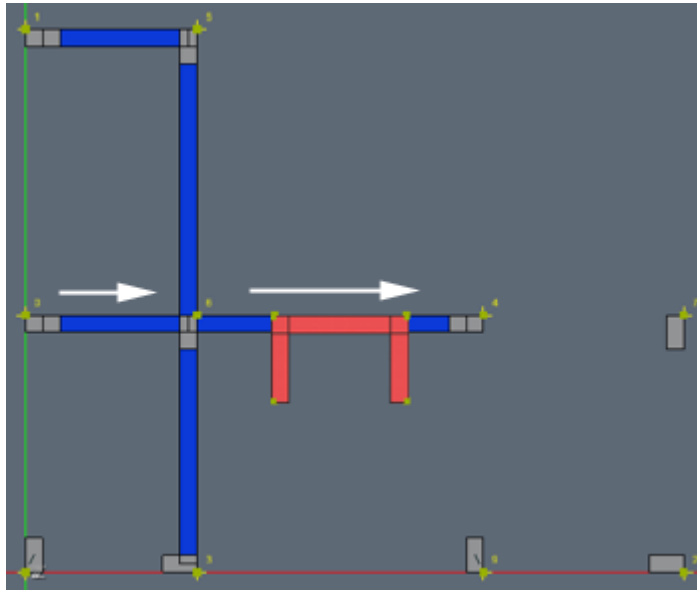



Figura 24.21 – Completamento delle travi con punto di aggancio a destra

5. Cambiare punto d'inserimento cliccando con il tasto sinistro del mouse sul primo punto in alto a sinistra:

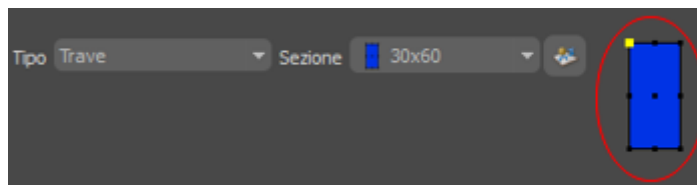



Figura 24.22 – Punto d'inserimento della trave a sinistra

6. Inserire le travi con punto di inserimento a sinistra:

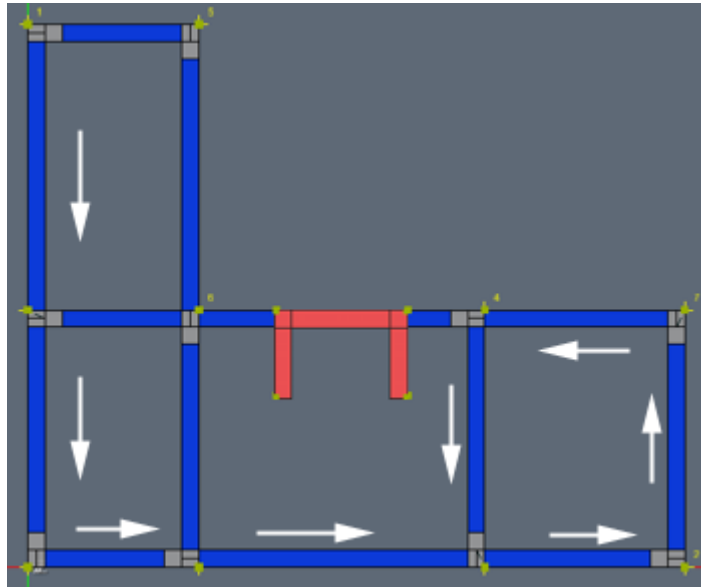



Figura 24.23 – Completamento delle travi con punto di aggancio a sinistra

24.1.5 Modifiche agli elementi

La natura ad oggetti di **IperSpace MAX**® permette che una volta inseriti gli elementi strutturali sia sempre possibile modificarne le proprietà. In particolare, in questo caso, si vogliono modificare alcune proprietà delle travi.

Modificare una sezione di una trave

1. Selezionare la seconda trave verticale dalla destra, cliccando su di essa con il tasto sinistro del mouse. A destra della finestra grafica apparirà il [Gestore delle proprietà], § 15.4.6 a pagina 173 come mostrato in figura 24.24:

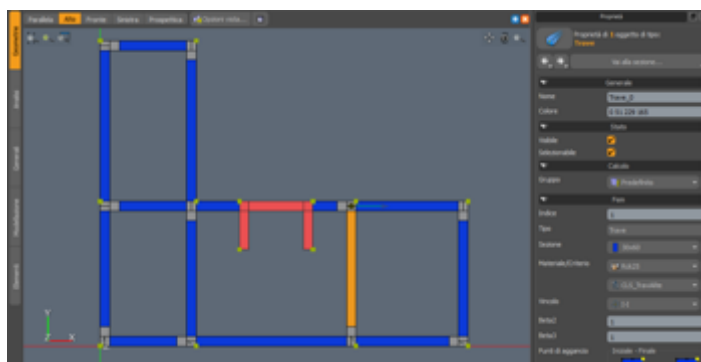
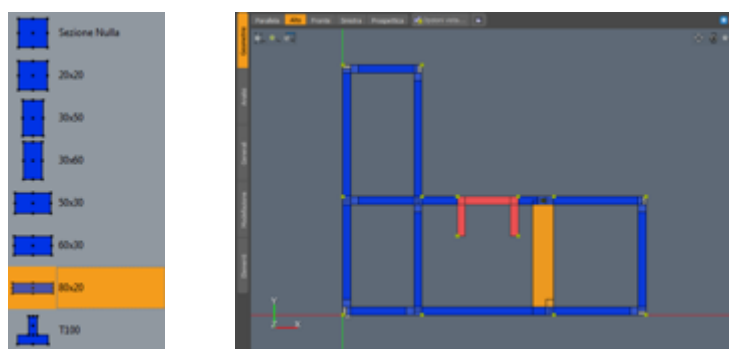



Figura 24.24 – Proprietà della trave selezionata

2. Modificare la sezione cliccando sul controllo apposito, in modo da aprire l'elenco di quelle presenti in libreria; scegliendo, ad esempio, la sezione *80x20*, come indicato dalla figura 24.25(a) a fronte:

(a) Scelta di una nuova sezione

(b) La trave selezionata con la nuova sezione

Figura 24.25 – Modifica dinamica di una proprietà di un oggetto

la trave si modificherà in maniera dinamica ed immediata, come riportato in figura 24.25(b); analogo discorso vale per tutti gli altri parametri dell'oggetto.

Da sottolineare, in ***IperSpace MAX®****, la funzione del* ***filo fisso*** *(o punto di aggancio) che, rimanendo fisso nello spazio globale, consente la modifica della sezione senza perdere, si badi bene, il collegamento dell'elemento interessato con quelli adiacenti. In genere, in altri software di calcolo strutturale la modifica di una sezione ha per conseguenza la perdita dei collegamenti tra gli elementi.*

Il gestore delle proprietà è organizzato in sezioni; cliccando sulle loro intestazioni è possibile collassarne o espanderne il contenuto a seconda delle esigenze. ***IperSpace MAX®*** *manterrà la configurazione scelta dall'utente alla successiva selezione della stessa tipologia di elemento.*

Volendo inserire delle travi che dalla porta dell'ascensore si colleghino a quelle adiacenti occorre selezionare quest'ultime e spezzarle ad una certa distanza.

Avendo già una selezione attiva è possibile selezionare la trave sulla sinistra utilizzando il tasto Ctrl di selezione multipla (vedi tabella 15.3 in [Comandi del mouse nella vista], § 15.4.5.1 a pagina 166).

Spezzare le travi

1. Tenere premuto il tasto Ctrl e cliccare con il tasto sinistro del mouse sulla trave verticale alla sinistra della gabbia ascensore, come mostrato dalla figura 24.26:

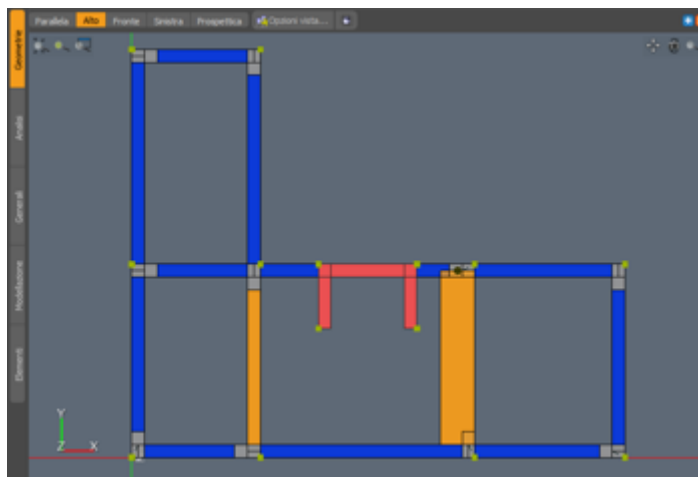



Figura 24.26 – Selezione multipla delle travi

2. Cliccare sul bottone , del comando *Spezza*, sulla [Barra di controllo], § 15.4.3 a pagina 161. Comparirà il seguente dialogo:

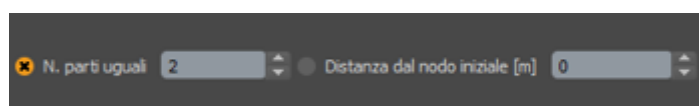



Figura 24.27 – Controlli per lo spezzamento della trave

che consente lo spezzamento delle travi in due modalità distinte ed esclusive:

- in *n* parti uguali
- a una data distanza (a partire rispettivamente dall'origine se il dato inserito per essa è positivo e dalla fine se il numero è negativo)

3. Inserire il valore (in metri) 1.50 nel controllo *Distanza dal nodo iniziale* e cliccare su ↵

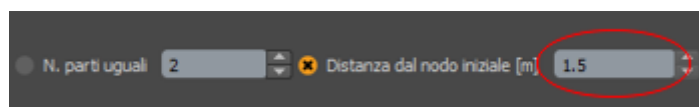



Figura 24.28 – Spezzamento della trave ad una data distanza

come anticipato, si disattiverà la modalità divisione in parti uguali.

4. Confermare cliccando su

Come si evince dalla figura 24.29 l'operazione di spezzamento ha creato due nuovi nodi (evidenziati con cerchietti rossi).

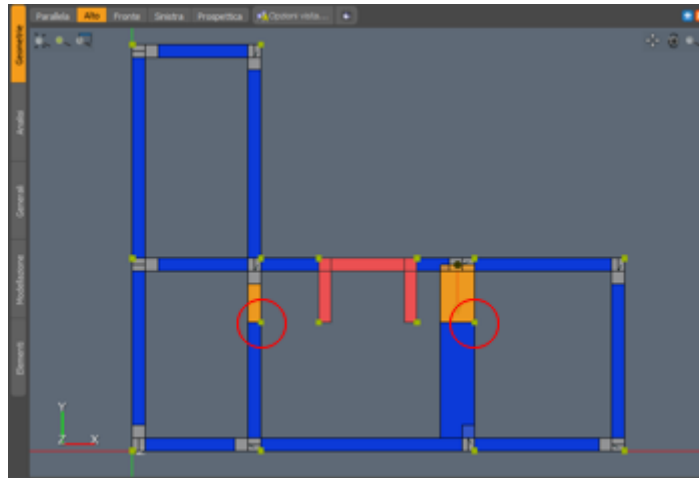
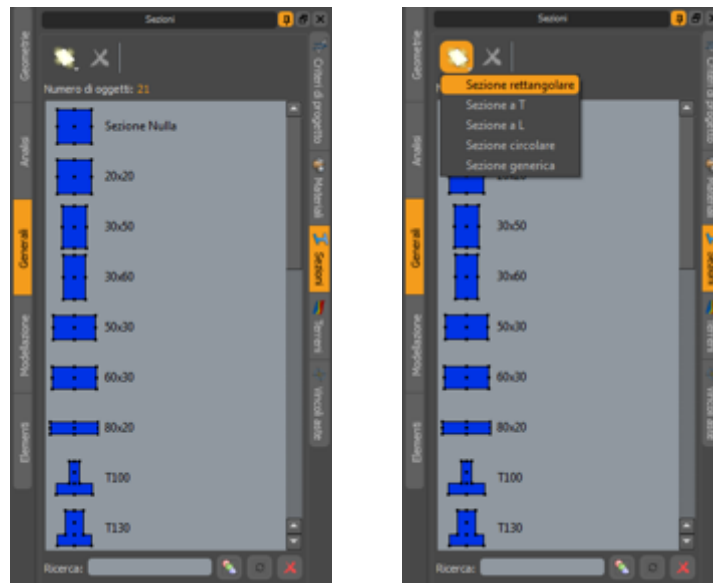



Figura 24.29 – Le travi spezzate alla distanza data

24.1.6 Creazione di una nuova sezione

Volendo inserire le travi sui muri della gabbia ascensore e nella zona anteriore con una sezione non disponibile nella libreria occorre crearne una ad hoc. Come si vedrà, la procedura di creazione di un nuovo oggetto di libreria, è un'operazione semplicissima e soprattutto standard, indipendente cioè, dal tipo di oggetto.

Creare una nuova sezione

1. Aprire la libreria *Sezioni* della tavolozza [Generali], § 15.4.4.3 a pagina 163

(a) Libreria delle sezioni esistenti

(b) Scelta del tipo sezione

Figura 24.30 – Creazione di una nuova sezione

2. Cliccare sul tasto [1]

   Si aprirà il menu contestuale per la scelta del tipo di sezione, come illustrato in figura 24.30(b).

3. Scegliere, dal menu, la voce Sezione rettangolare

   IperSpace MAX® creerà immediatamente la nuova *Sezione rettangolare 0*. Nel [Gestore delle proprietà], § 15.4.6 a pagina 173, sulla destra, compariranno le proprietà predefinite della nuova sezione, come mostrato in figura 24.31 a fronte.

[1]Questa icona, indipendentemente dal contesto, rappresenta il comando “Nuovo”, dunque il pulsante associato viene adoperato sempre per la creazione di un nuovo oggetto.

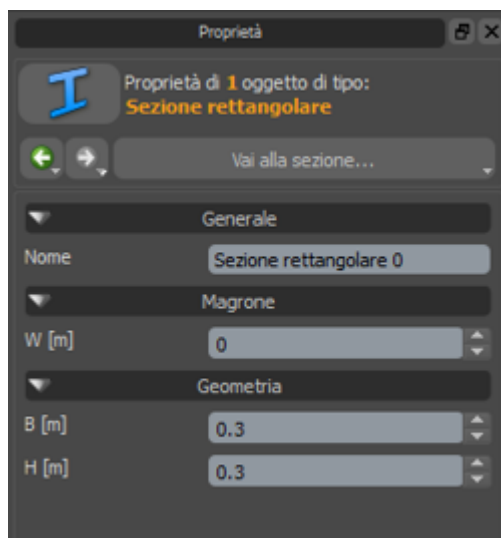



Figura 24.31 – Proprietà della sezione rettangolare

4. Inserire nel campo *Nome* un'etichetta che identifica più facilmente le dimensioni della nuova sezione, ad esempio, il valore 30x20

5. Inserire nei campi *B* (base) e *H* (altezza) rispettivamente i valori, in metri, 0.3 e 0.2

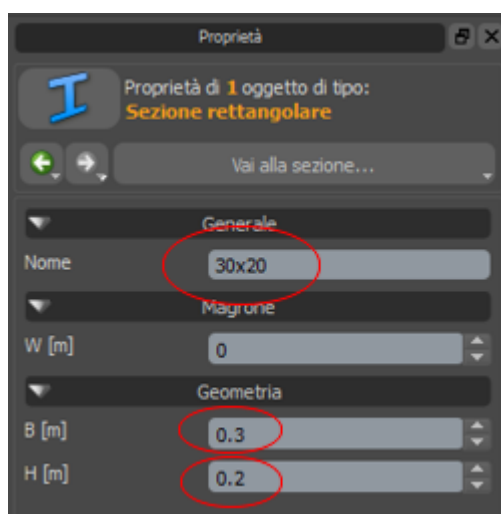



Figura 24.32 – Inserimento dei valori

La procedura di creazione di una nuova sezione è terminata e questa è disponibile immediatamente nella libreria di **IperSpace MAX®**.

A prescindere dal tipo di oggetto tutte le librerie permettono la ricerca di elementi esistenti attraverso il campo apposito posto in basso.

24.1.7 Inserimento delle travi sui muri

Creare le travi sui muri

Una volta creata la sezione *30x20* inserire le travi anteriori alla gabbia ascensore e successivamente sui muri della stessa.

1. Cliccare sulla voce di menu Crea ⊳ [Trave], § 19.2.5 a pagina 272
2. Scegliere la sezione *30x20* e il punto di aggancio superiore sinistro

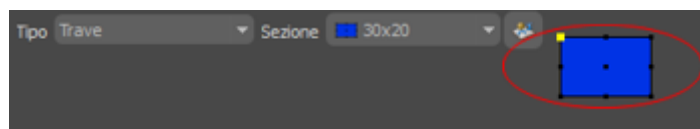



Figura 24.33 – Scelta dei parametri per le travi della gabbia ascensore

3. Inserire le travi anteriori

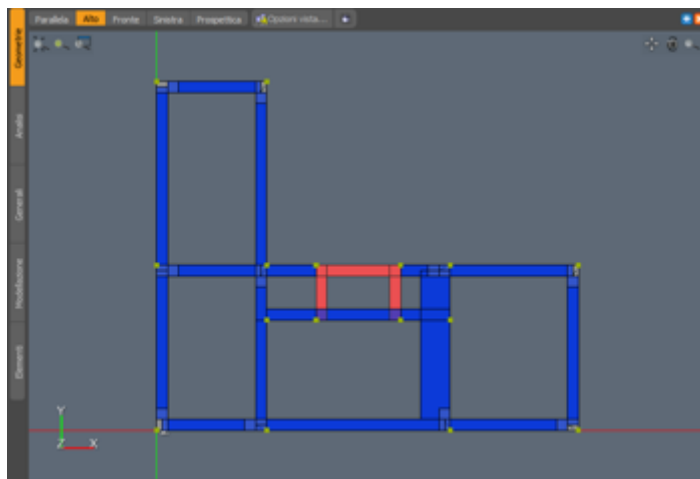



Figura 24.34 – Inserimento delle travi anteriori

4. e successivamente quelle sul muro

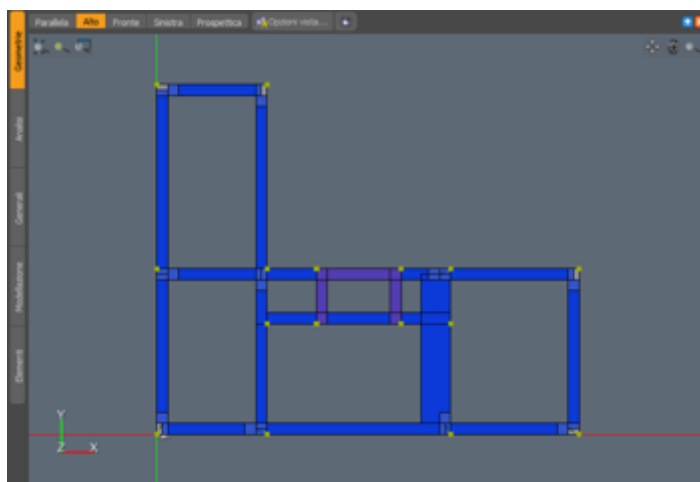



Figura 24.35 – Inserimento delle travi sui muri

Volendo controllare il risultato finale cliccare sul tab Parallela della finestra grafica.

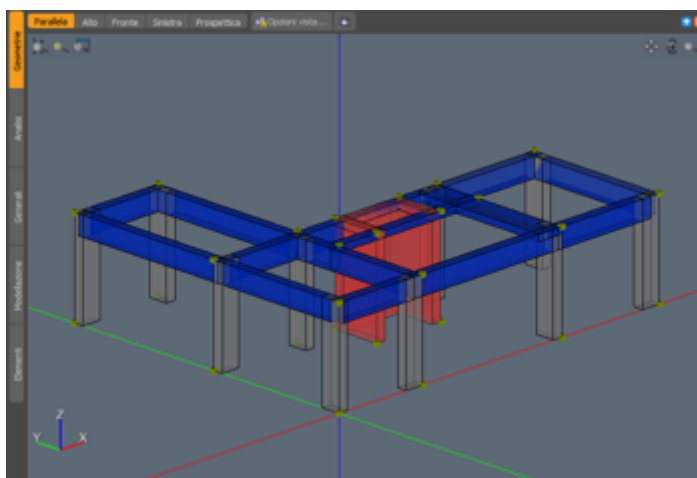



Figura 24.36 – Vista tridimensionale della struttura

IperSpace MAX® consente una modellazione reale e totale nello spazio tridimensionale dunque il risultato mostrato in figura 24.36 sarebbe potuto ottenersi indifferentemente lavorando direttamente nella vista Parallela *piuttosto che in quella fino ad ora adoperata,* Alto.

24.1.8 Operazioni sugli impalcati

Cliccando, nel navigatore *Struttura* della tavolozza [Geometrie], § 15.4.4.1 a pagina 162, sul nodo principale della struttura corrente, denominato *Struttura_01*, si seleziona tutto il modello, come evidenziato nella figura 24.37.

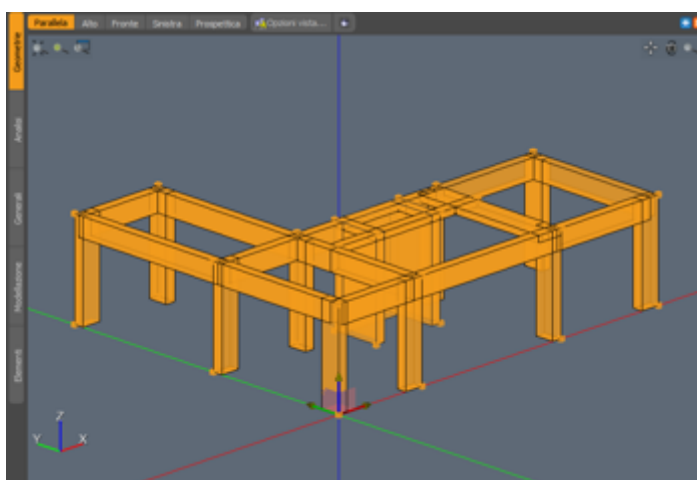



Figura 24.37 – Selezione dell'intera struttura

Nella barra di controllo compaiono due comandi e . Il primo, *Genera impalcati*, organizza gli elementi strutturali in base alle quote dei nodi che li costituiscono, il secondo *Rimuovi impalcati* ripristina gli elementi sotto le proprie categorie di appartenenza, indipendentemente dalle quote dei nodi costituenti.

La creazione di impalcati agevola alcune operazioni come la copia o la modifica di alcune proprietà delle strutture.

Generare gli impalcati

Volendo generare gli impalcati della struttura in esame:

1. Cliccare su *Genera impalcati*
2. Definire il numero minimo di nodi (complanari), per individuare un impalcato e la tolleranza

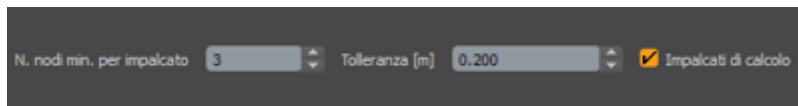
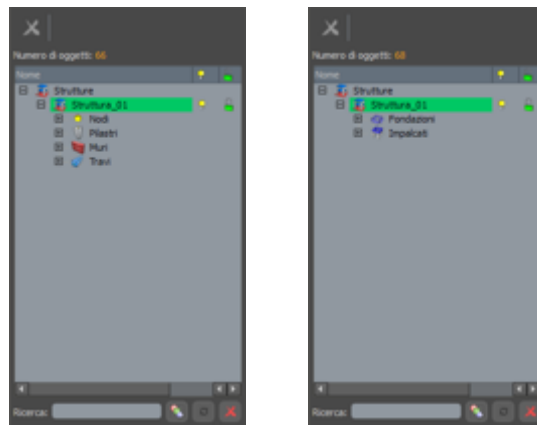



Figura 24.38 – Parametri per la generazione degli impalcati

3. Attivare il check *Impalcati di calcolo* se l'impalcato generato deve essere anche impalcato di calcolo per il modello FEM
4. Cliccare su per confermare

Nel navigatore compariranno i nodi degli impalcati generati; in questo caso avendo solo nodi a quota *0* (fondazione) e a quota *3* metri (impalcato) si ottiene il solo *Impalcato_1*.

(a) Navigatore senza impalcati

(b) Navigatore con impalcati

Figura 24.39 – Lo stato del navigatore nei due casi, prima e dopo la generazione degli impalcati

Cliccando sul nodo principale dell'unico impalcato (*Impalcato_1*):

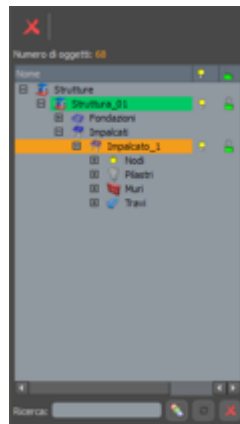



Figura 24.40 – Selezione del solo impalcato

nella barra di controllo compaiono due comandi il primo, Corrente, rende tale l'impalcato selezionato, cosicché eventuali operazioni di creazione e snap, sono relative al solo impalcato in oggetto, il secondo, *Copia*, permette di effettuare copie multiple degli elementi, appartenenti all'impalcato selezionato, a quote specificate.

L'impalcato corrente viene evidenziato, nel navigatore, attraverso il colore (verde) del campo dell'etichetta che lo contraddistingue.

Cliccando su *Copia* compariranno i seguenti controlli:

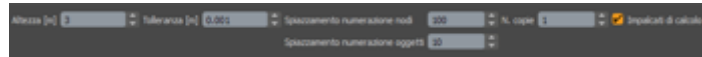



Figura 24.41 – Parametri di controllo del comando Copia impalcato

Dove è possibile definire l'altezza del nuovo piano; quella presente *3.00* metri è relativa dall'impalcato corrente.

Copiare gli impalcati

Volendo copiare il contenuto dell'impalcato selezionato su due nuovi impalcati aventi entrambi altezza *3.20*:

1. Inserire nel campo *Altezza* il valore 3.20
2. Specificare il numero di copie, 2, nel campo *N. copie*
3. Confermare cliccando su

Si noti che, in automatico, ***IperSpace MAX***® *adatta il contenuto del campo* ***Tolleranza*** *in modo che non ci siano nodi doppi o discontinuità tra gli impalcati.*

Si ottengono, in questo modo, i nuovi impalcati come mostrato dalla figura 24.42.

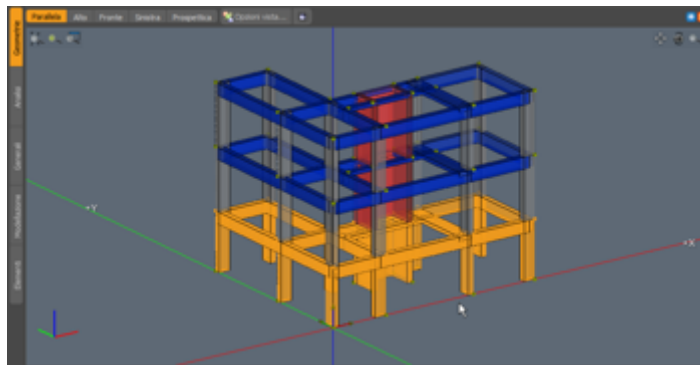



Figura 24.42 – La struttura con i nuovi impalcati

24.1.9 Inserimento dei solai

Inserire i solai

Per inserire i solai in modo automatico:

1. Selezionare tutti gli elementi della struttura invocando il comando Modifica ⊳ [Tutti], § 17.4.1 a pagina 238

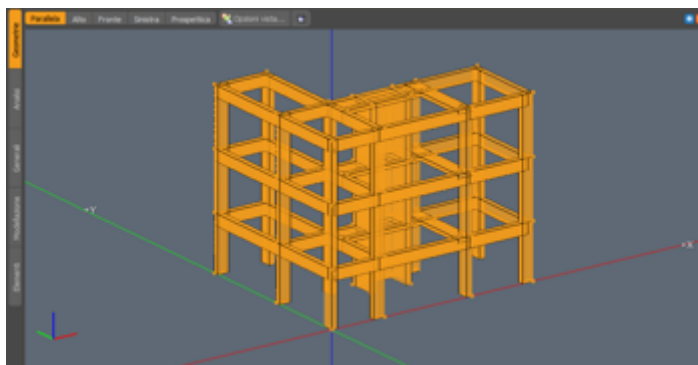



Figura 24.43 – La struttura interamente selezionata

Tutti gli elementi della struttura appariranno selezionati.

Eventualmente vi fossero elementi non selezionati accertarsi che non ci sia un filtro selezione attivo (vedi [Selezione], § 15.4.8.1 a pagina 178).

2. Selezionare la voce di menu Crea ⊳ [Solaio], § 19.2.10 a pagina 277
3. Eventualmente scegliere il *Tipo* e modificare l'angolo di *Inclinazione* nella barra di controllo, come da figura 24.44

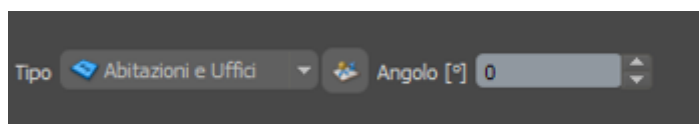



Figura 24.44 – Parametri del solaio

4. Cliccare su ✓ per confermare

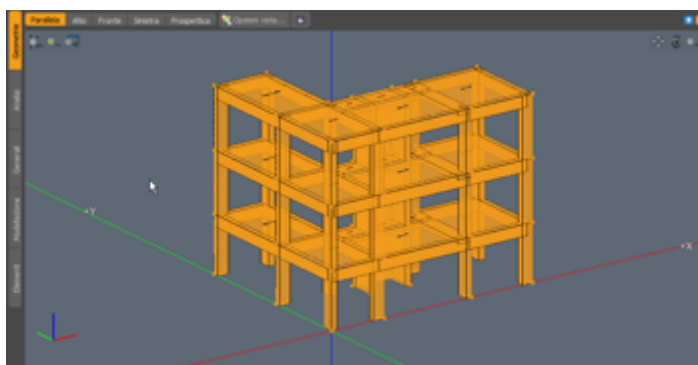



Figura 24.45 – I solai inseriti

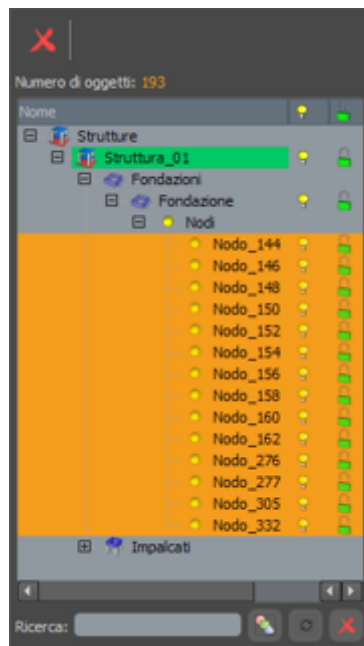
24.1.10 Inserimento dei vincoli in fondazione

Vincolare i nodi in fondazione

Una volta generata l'intera struttura, qualora si volesse effettuare un calcolo, occorrerebbe vincolare i nodi di fondazione.

1. Dal navigatore espandere il nodo *Fondazione*

2. Espandere a sua volta il nodo figlio *Nodi*

3. Selezionare tutti i nodi cliccando sul primo e, tenendo premuto il tasto [Shift ⇑], cliccare sull'ultimo

(a) Selezione dei nodi in fondazione

(b) Proprietà dei nodi in fondazione

Figura 24.46 – Le proprietà comuni dei nodi selezionati

La proprietà *Vincolo*, della sezione *Fem* nel gestore delle proprietà, riporta il valore [Libero]. Ciò significa che i nodi selezionati non posseggono alcun vincolo associato.

4. Agendo sulla freccetta ▼ a fianco al valore [Libero] è possibile selezionare un tipo di vincolo diverso da quello corrente

(a) Il valore corrente Libero

(b) I valori disponibili, tra cui Incastrato

Figura 24.47 – La proprietà Vincolo dei nodi selezionati

Vista la mancanza di fondazioni, per la proprietà *Vincolo* si scelga il valore Incastrato tra quelli proposti (come mostrato in figura 24.47).

È buona norma salvare il lavoro, attraverso il comando File ▷ [Salva con nome], § 16.1.4 a pagina 186 , dato che la struttura sarà riutilizzata nella sezione del tutorial relativa al [Meshing di una platea], § 25.1 a pagina 425.

Per avere una visione *fem* della struttura realizzata cliccare sul tab Opzioni vista (vedi § 15.4.5.3 a pagina 167), e dal menu corrispondente:

1. Cliccare sul layer FEM
2. Per una migliore visualizzazione del modello eventualmente disabilitare il layer Solido

*I layer grafici di **IperSpace MAX**® non si escludono a vicenda dunque possono essere combinati in modo da poter soddisfare richieste particolari da parte dell'utente*

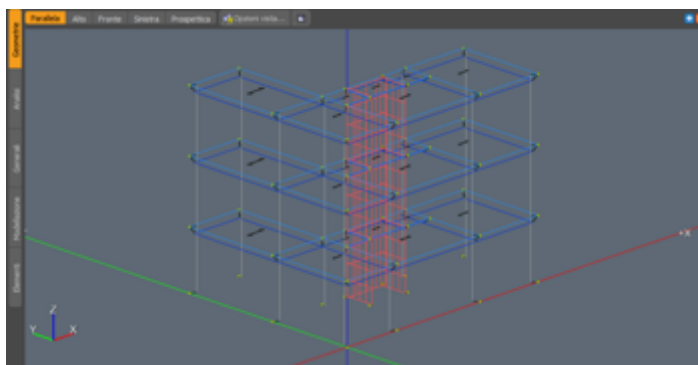



Figura 24.48 – Visualizzazione fem della struttura

Apparirà il modello a *fil di ferro* con i nodi, gli assi degli elementi e i relativi conci rigidi. Volendo visualizzare delle informazioni utili è possibile attivare dallo stesso menu il layer grafico Informazioni. Nella figura 24.49 sono rappresentati gli indici dei nodi.

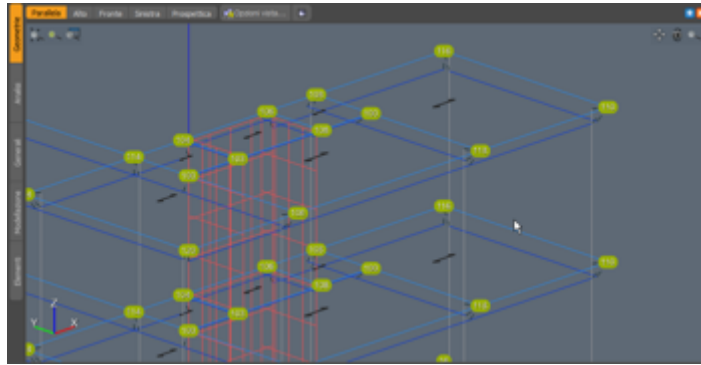



Figura 24.49 – Particolare con visualizzazione indici dei nodi

24.1.11 Inserimento delle travi di fondazione

Volendo inserire le travi di fondazione sotto la struttura è possibile seguire diverse strade ma una delle soluzioni più convenienti è quella di selezionare le travi in elevazione del primo impalcato e copiarle a quota fondazione; successivamente basterà selezionarle e modificarne sezione e tipo.

Inserire le travi di fondazione

1. Dal navigatore, espandere il nodo *Impalcati→Impalcato_1→Travi*
2. Selezionare tutte le travi cliccando sulla prima e, tenendo premuto il tasto Shift ⇑ , cliccare sull'ultima

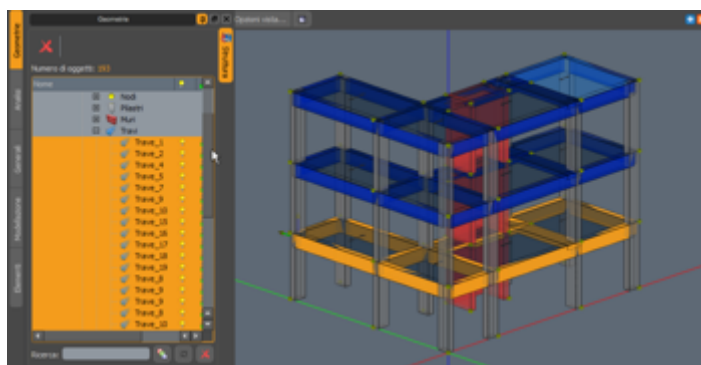



Figura 24.50 – Selezione delle travi appartenenti al primo impalcato

3. Eseguire il comando Modifica ▷ [Copia spostando], § 17.8.2.1 a pagina 249

   Nella barra di controllo appariranno i parametri per l'operazione di copia (come mostrato in figura 24.51 nella pagina successiva).

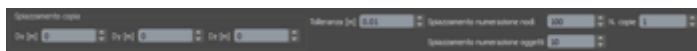



Figura 24.51 – Parametri per la copia degli oggetti selezionati

4. Inserire nel campo *dZ* il valore negativo -3.00 dato che, in questo caso, si tratta di una traslazione verso il basso rispetto al sistema di riferimento globale

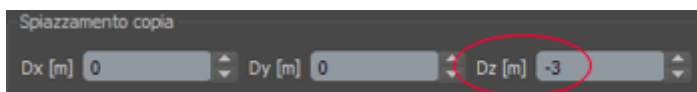



Figura 24.52 – Inserimento della traslazione in direzione Z

> *La modifica dei parametri si riflette, in tempo reale, nella finestra grafica in modo da permettere all'utente di verificare visivamente la correttezza dei dati inseriti.*

5. Cliccare su ✓ per confermare

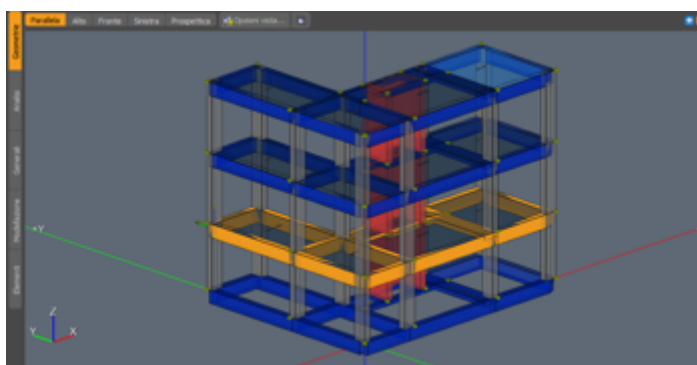



Figura 24.53 – La copia delle travi in fondazione

6. Analogamente con quanto fatto per le travi in elevazione, dal navigatore, espandere il nodo *Fondazioni*→*Fondazione*→*Travi*

7. Selezionare tutte le travi cliccando sulla prima e, tenendo premuto il tasto Shift ⇑ , cliccare sull'ultima

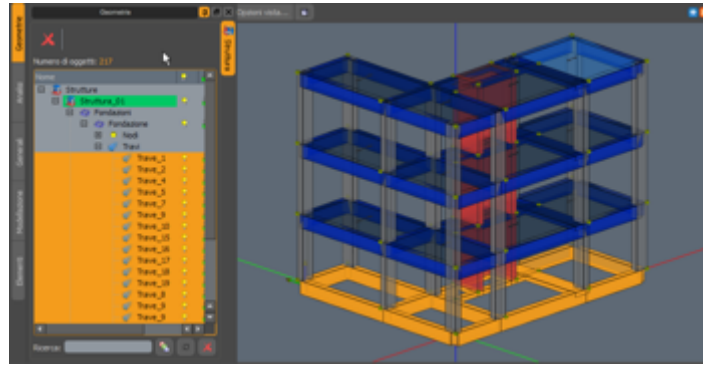
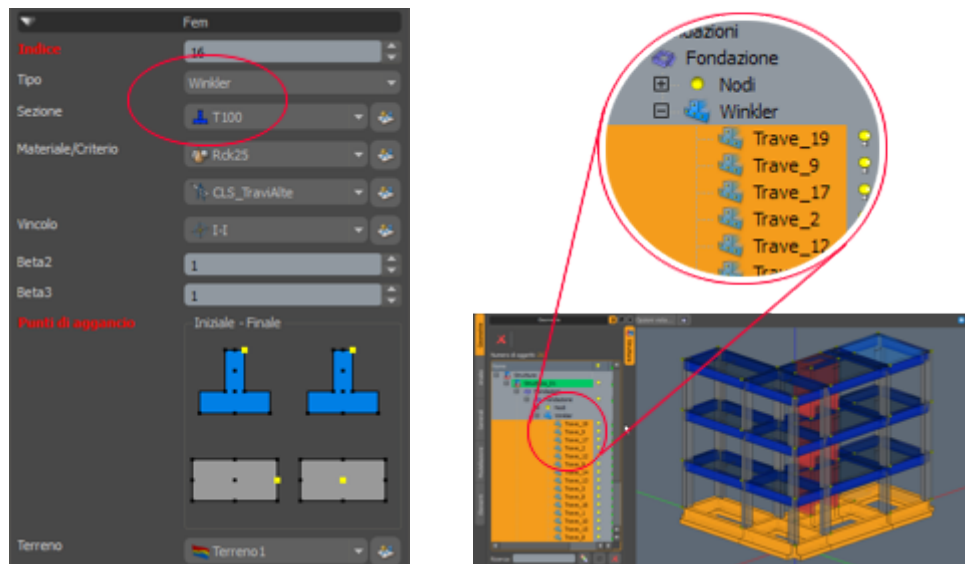



Figura 24.54 – Selezione delle travi appartenenti alla fondazione

8. Nel gestore delle proprietà, sezione *Fem*, modificare il *Tipo* da Trave in Winkler e scegliere la *Sezione* appropriata, ad esempio, una T100

(a) Modifica delle proprietà delle travi di fondazione

(b) Aggiornamento immediato della vista grafica e del navigatore

Figura 24.55 – La proprietà Vincolo dei nodi selezionati

Come si vede dalla figura 24.55(b) le modifiche effettuate nel gestore delle proprietà hanno effetto immediato sia sulla visualizzazione grafica, attraverso l'aggiornamento della sezione delle travi, che nel navigatore attraverso l'aggiornamento della categoria di appartenenza delle travi che diventa "Winkler".

*Eventualmente si desiderasse eseguire il calcolo della struttura ottenuta ricordarsi di modificare il tipo di vincolo dei nodi in fondazione in quanto, come impostato nella'[Inserimento dei vincoli in fondazione], § 24.1.10 a pagina 402, risultano del tipo **Incastrato** e dunque andrebbero modificati in **Winkler**.*

Rinumerare nodi e aste

Per ordinare gli elementi della struttura, soprattutto in vista delle uscite, è bene rinumerare i nodi e successivamente le aste.

1. Eseguire il comando di rinumerazione Modifica ▷ [Nodi], § 17.6.1 a pagina 244
2. Nella barra di controllo, come da figura 24.56 appariranno i seguenti parametri

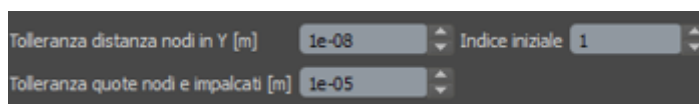



Figura 24.56 – Parametri di rinumerazione dei nodi

3. Cliccare su per rinumerare in maniera ordinata [2] i nodi della struttura
4. Eseguire, infine, il comando Modifica ▷ Aste ▷ [Rinumera pilastrate e travate], § 17.6.2.3 a pagina 245

24.1.12 Inserimento di una fondazione a plinti diretti

Inserire i plinti in fondazione

Volendo inserire una fondazione costituita da plinti diretti eliminare le travi di fondazione inserite nell'[Inserimento delle travi di fondazione], § 24.1.11 a pagina 404 e procedere nel modo:

1. Selezionare i nodi in fondazione (fare riferimento all'[Inserimento dei vincoli in fondazione], § 24.1.10 a pagina 402)
2. Eseguire il comando Crea ▷ [Plinto sui nodi selezionati], § 19.2.12 a pagina 278
3. Scegliere, come riportato dalla figura 24.57 nella pagina seguente, il *Tipo*, il *Materiale* e il *Criterio di verifica* dei plinti da inserire

[2] La rinumerazione riguarda l'**indice** del nodo, che risulterà dipendente dall'impalcato di appartenenza dello stesso: ad esempio, se il nodo appartiene al terzo impalcato il suo indice sarà un numero compreso tra 300 e 399; analogo discorso vale per le travi.

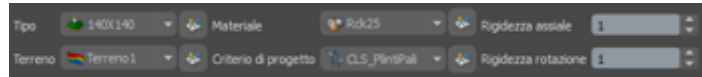



Figura 24.57 – Parametri per la creazione di un plinto

4. Cliccare su per eseguire l'operazione

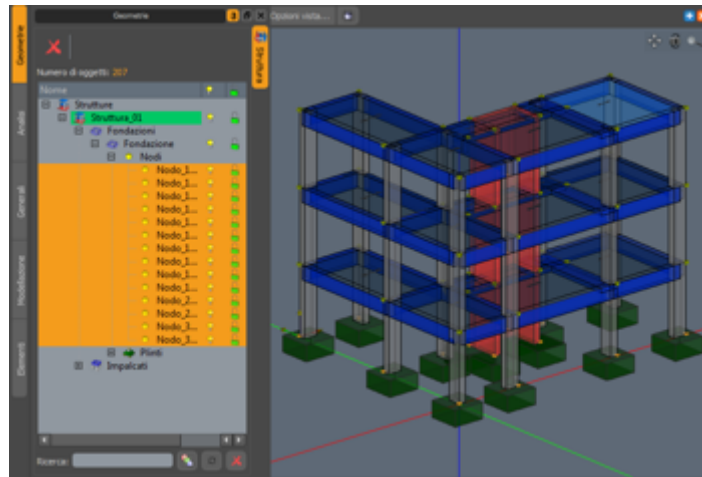



Figura 24.58 – La struttura con i plinti in fondazione

Dato che esiste ancora una selezione attiva, per i nodi, modificarne la tipologia accertandosi che sia del tipo **Winkler** (come descritto nell'[Inserimento dei vincoli in fondazione], § 24.1.10 a pagina 402).

In generale, se si inseriscono plinti diretti il tipo di vincolo da associare ai nodi deve essere ***Winkler****, diversamente nel caso di plinti su pali, il vincolo deve essere necessariamente* ***Libero****.*

24.2 Modellazione da maglia nodale

La modellazione attraverso una [Maglia nodale], § 19.2.2 a pagina 267 potrebbe risultare molto utile nel caso in cui non si disponesse di una rappresentazione della pianta della struttura da modellare o più semplicemente ove si volessero posizionare i fili fissi in pianta con una certa precisione.

Si immagini di voler inserire dei nodi in pianta in posizioni rigorose e precise.

Inserire le coordinate in direzione X

1. Eseguire il comando Crea ▷ [Maglia nodale], § 19.2.2 a pagina 267

   Comparirà il dialogo mostrato in figura 24.59 a fronte:

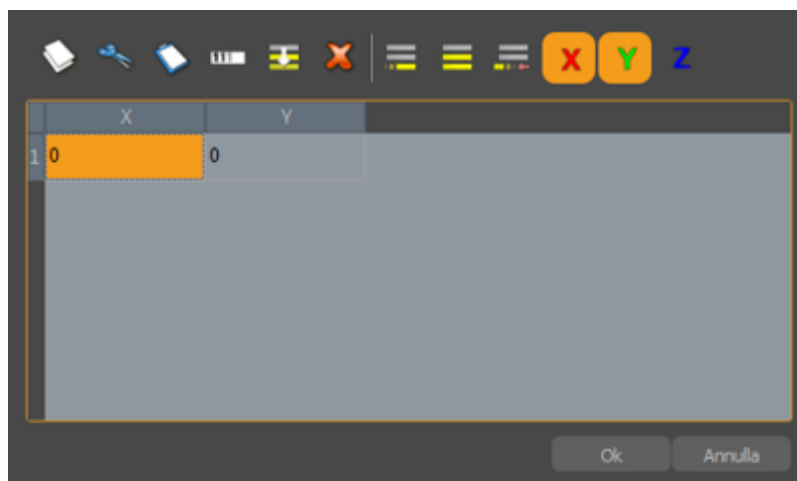



Figura 24.59 – Il dialogo per l'inserimento di una maglia di nodi

Il dialogo permette di generare una maglia di nodi nel piano globale *XY*, *XZ* e *YZ*; in questo esempio è nostro interesse crearla nel piano orizzontale *XY* ottenendo dei punti di aggancio per i pilastri.

2. Per facilitare le operazioni di copia e incolla, per valori coincidenti delle celle, conviene portarsi sul colonna più a destra (quella delle *Y*) e battere il tasto ↩ più volte in modo da creare tante righe per quanti sono i nodi che si vogliono inserire; nel nostro caso *12*

3. Si forniscano le coordinate in *X*: 0, 4.5, 10, 14

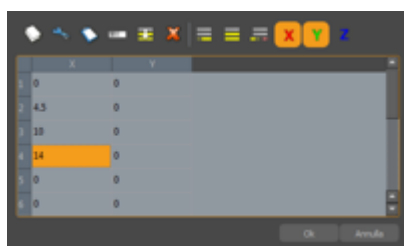
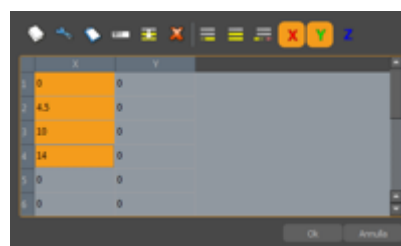
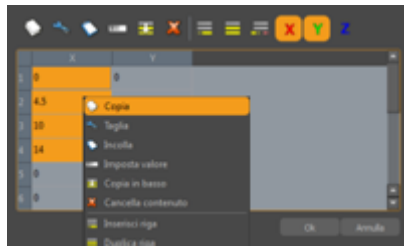
4. Cliccare sulla primo valore e tenendo premuto il tasto Shift ⇑ cliccare sull'ultimo in modo da selezionarli tutti

(a) Inserimento dei primi quattro valori

(b) Selezione dei valori inseriti

Figura 24.60 – Inserimento dei valori in direzione *X*

5. Cliccando, sulla selezione, con il tasto destro del mouse si attiverà un menu contestuale; scegliere la voce Copia

6. Portarsi in corrispondenza del nodo *5* (colonna *X*, riga numero *5*) e cliccando con il tasto destro del mouse scegliere la voce Incolla del menu contestuale

(a) Operazione di *copia* delle prime quattro righe

(b) Operazione di *incolla* dei valori inseriti

Figura 24.61 – Duplicazione dei valori coincidenti in direzione X

7. Ripetere l'operazione precedente in corrispondenza del nodo *9* in modo da completare la sequenza delle coordinate in direzione X

Inserire le coordinate in direzione Y

Si passi ora all'inserimento delle coordinate in direzione Y. Immaginando di avere i primi quattro valori pari a *0*:

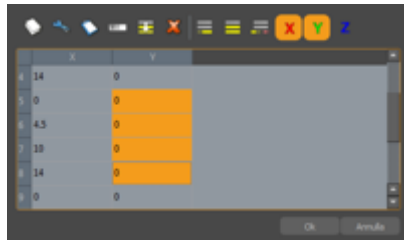
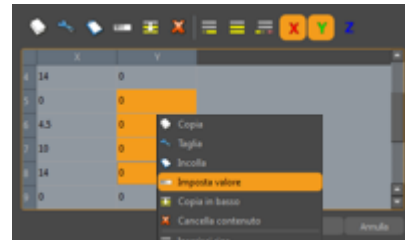
1. Selezionare le 4 righe, nella colonna Y, a partire dal nodo *5*
2. Cliccare con il tasto destro del mouse sulla selezione e scegliere la voce Imposta valore

(a) Selezione multipla

(b) Impostazione di un valore dato

Figura 24.62 – Inserimento dei valori in direzione Y

3. Assegnare il valore 5 alle celle selezionate attraverso il dialogo in figura 24.63

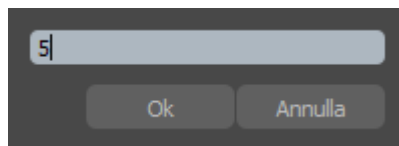



Figura 24.63 – Il dialogo per l'inserimento di un valore

4. In modo analogo, ripetere i tre punti precedenti, in modo da assegnare ai nodi dal *9* al *12* il valore 11

Figura 24.64 – L'inserimento della maglia di nodi è completo

5. Cliccare su Ok per completare

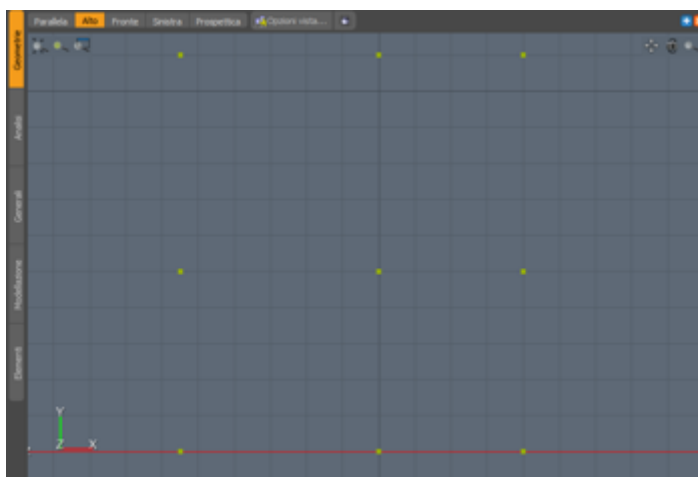



Figura 24.65 – La maglia nodale visualizzata nella finestra grafica

Concludendo, se non si ha a disposizione una pianta, in formato **DXF**® o in altri formati compatibili con **IperSpace MAX**® (vedi [Importa], § 16.2.1 a pagina 187), su cui agganciare i pilastri, l'inserimento attraverso una maglia di nodi resta il sistema più semplice per partire con la modellazione di una struttura. Naturalmente, sarebbe stato anche più immediato, arrivare al risultato ottenuto, generando semplicemente i primi quattro nodi per poi copiarli in direzione Y. Resta il fatto che l'inserimento attraverso la maglia nodale può prevedere anche nodi non allineati, basta inserire, infatti, in modo rigoroso le coordinate X ed Y per tutti i nodi.

Volendo proseguire nell'inserimento degli elementi strutturali, i procedimenti sono quelli già visti nella sezione [Modellazione da una pianta], vedi [Inserimento dei pilastri], § 24.1.2 a pagina 382.

24.3 Modellazione di strutture parametriche

IperSpace MAX® permette di inserire strutture realmente parametriche come:

- Cupole
- Capriate
- Capannoni
- Serbatoi
- Strutture automatiche
- Solette
- Travi continue

nel senso che la modellazione avviene in maniera interattiva e dinamica consentendo, addirittura durante l'inserimento, di variarne tutti i parametri.

Inoltre, cosa più importante, una volta creata la struttura, questa conserva la natura parametrica nativa, lasciando nel contempo la possibilità di intervento completo sugli elementi singoli che la costituiscono; ad esempio, nel caso di un capannone di un certo tipo (palladiano, ad arco di cerchio, ecc.), con una certa luce, creato con un certo numero di campate di una certa sezione e materiale, sarà sempre possibile trasformarlo in un capannone di un altro tipo, di modificarne la luce, il numero di campate, le sezioni e i materiali (addirittura di una particolare campata), ecc. *senza doverlo disegnare nuovamente*.

24.3.1 Inserimento di una cupola circolare

Inserire una cupola parametrica

1. Eseguire la voce di menu Crea ▷ [Cupola], § 19.4.4 a pagina 288

   Verranno visualizzati i parametri mostrati in figura 24.66

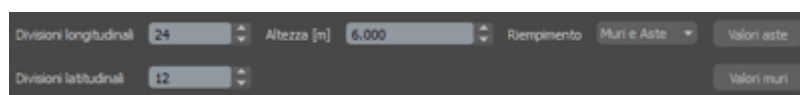



Figura 24.66 – I parametri per la creazione di una cupola

Dove è possibile definire le *Divisioni longitudinali*, le *Divisioni latitudinali*, l'*Altezza* e il tipo di elementi di costruzione (*Riempimento*) che può essere costituito rispettivamente da:

- Muri
- Aste
- Muri e Aste

Il *raggio* della cupola viene definito interattivamente cliccando, con il tasto sinistro del mouse, su un punto della griglia, dopo averne definito, allo stesso modo, il punto di origine.

2. Scegliere per il parametro *Riempimento* il valore *Aste*

3. Eventualmente definire le caratteristiche delle aste cliccando sul tasto *Valori aste*, come mostrato in figura 24.67(b)

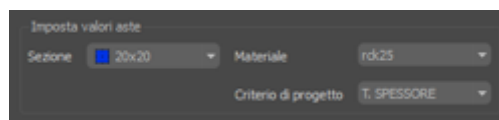
(a) Scelta del tipo di riempimento

(b) Caratteristiche delle aste

Figura 24.67 – Impostazione dei parametri per la creazione della cupola

4. Per comodità passare sulla vista in pianta, cliccando sul tab *Alto* nella finestra grafica

5. Cliccare, con il tasto sinistro del mouse, in un punto del piano per definire il centro della cupola

6. Muovere il mouse per variare il raggio e cliccare nuovamente, con il tasto sinistro del mouse, per fissarlo

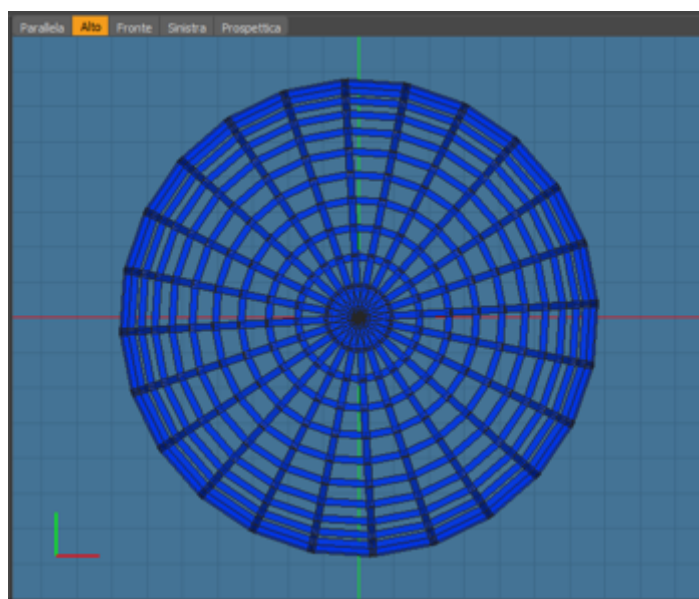



Figura 24.68 – Vista in pianta della cupola creata

7. Cliccando sul tab *Fronte*, della finestra grafica, si ottiene una visualizzazione frontale della stessa (vedi figura 24.69(a))

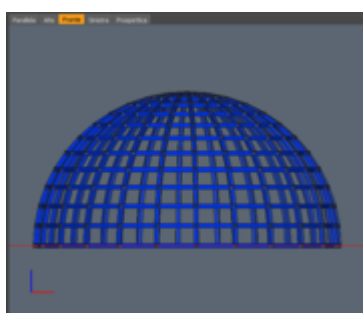
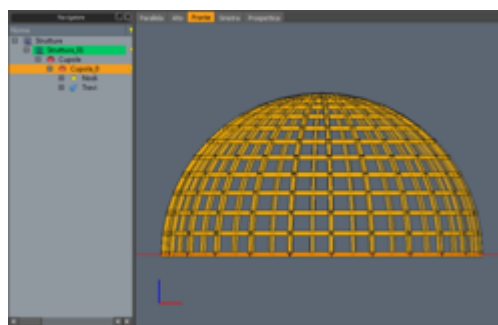
8. Espandendo, dal navigatore, il nodo *Cupole* e selezionando il nodo *Cupola_0* si ottiene una selezione parametrica della stessa (vedi figura 24.69(b))

(a) La cupola in vista frontale

(b) Selezione parametrica della cupola

Figura 24.69 – Vista frontale e selezione parametrica della cupola

A riprova la figura 24.70 mostra, attraverso il gestore delle proprietà, i parametri dell'intera cupola e non dei singoli elementi strutturali che la costituiscono (nodi, aste, ecc.)

9. Dal gestore delle proprietà, modificare l'*Altezza* portandola a *4* metri

10. Modificare, inoltre, il tipo di *Riempimento* scegliendo il valore *Muri*

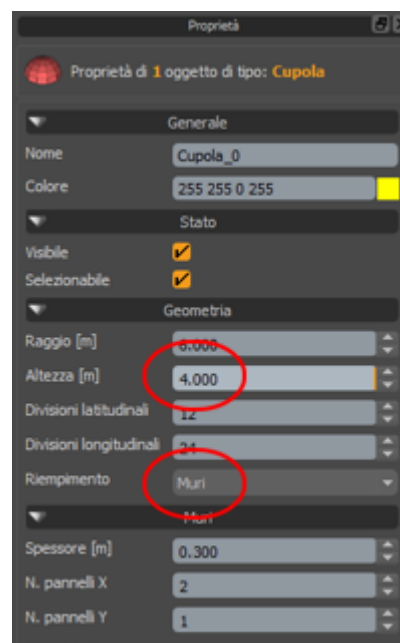
(a) Le proprietà originali dell'oggetto cupola

(b) Le proprietà *Altezza* e *Riempimento* modificate

Figura 24.70 – Proprietà parametriche delle cupola selezionata

La modifica avviene in tempo reale, come si evince dalla figura 24.71

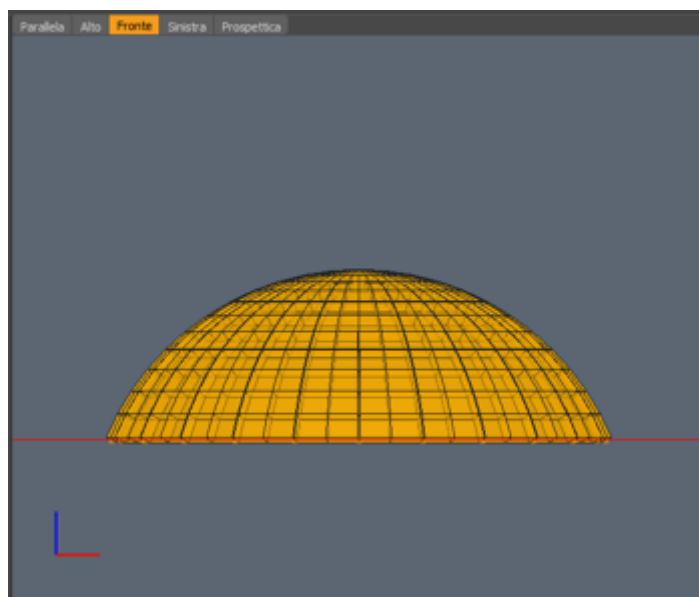



Figura 24.71 – La cupola aggiornata con i parametri modificati

Si noti come la modifica di un parametro, all'interno del gestore delle proprietà, aggiorni in tempo reale il gestore stesso; nel nostro esempio, la modifica del tipo di ***Riempimento*** *dal valore Aste al valore Muri ha comportato, oltre all'aggiornamento immediato nella rappresentazione grafica, la disponibilità della sezione* ***Muri****, nelle proprietà, che ha sostituito quella precedente,* ***Aste****.*

Avendo disponibilità, ora, dei parametri relativi ai muri è possibile dinamicamente modificarne, ad esempio, *Spessore*, *Materiale/Criterio*, ecc.

11. Modificare lo *Spessore* portandolo a *0.200* metri

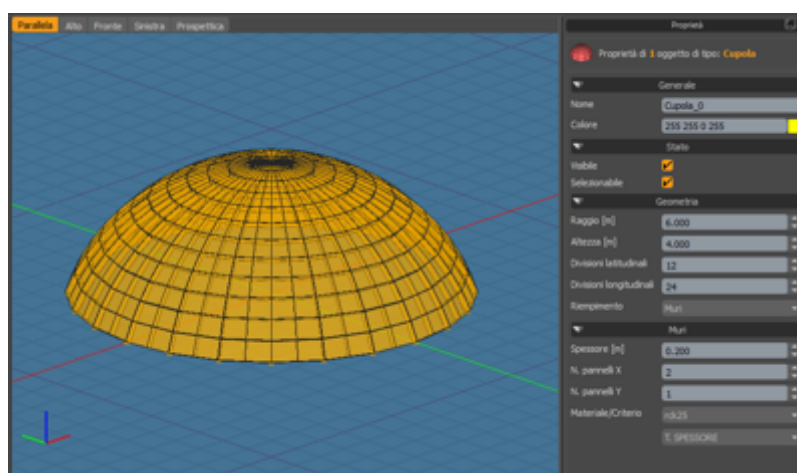



Figura 24.72 – La cupola con un nuovo spessore, in vista parallela

*Affinché la cupola possa essere collegata ad una platea, in modo da garantirne la congruenza, occorre che il numero di pannelli in direzione **X** sia sempre pari.*

24.3.2 Inserimento di un capannone

In questa sezione non si prenderanno in considerazione le capriate in quanto possono essere considerate delle sottostrutture dei capannoni.

Si consideri una maglia nodale (vedi [Modellazione da maglia nodale], § 24.2 a pagina 408).

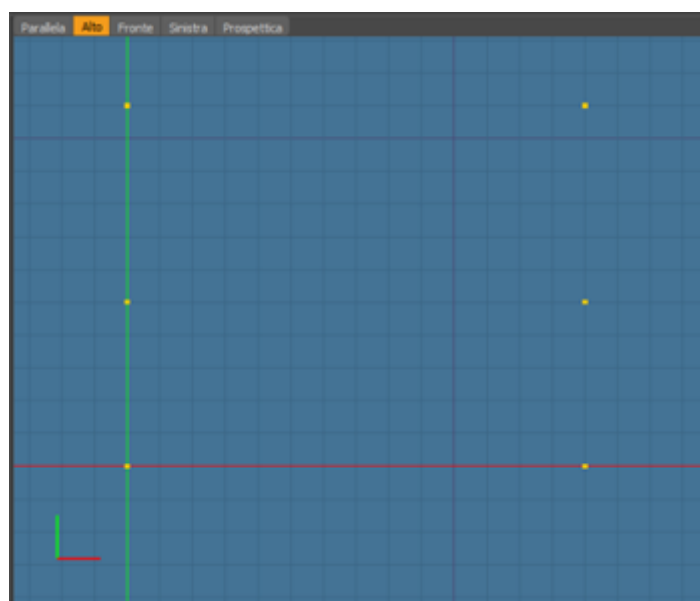



Figura 24.73 – La maglia nodale per la creazione del capannone

Per comodità di modellazione si consideri la vista in assonometria cliccando sul tab *Parallela* della vista grafica:

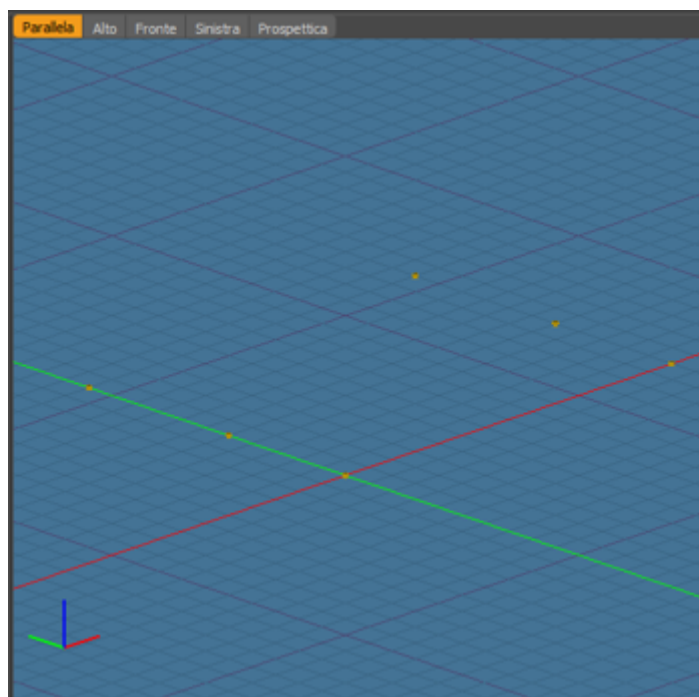



Figura 24.74 – La maglia nodale nella vista assonometrica

Inserire un capannone parametrico

1. Eseguire la voce di menu Crea ▷ ▷ [Capannone], § 19.4.3 a pagina 286

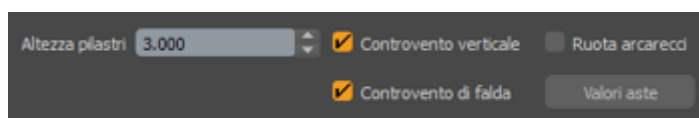
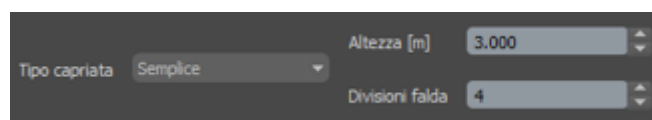
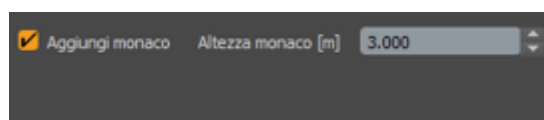
   Nella barra di controllo appariranno i controlli di creazione del capannone; questi, come riportato dalla figura 24.75, possono essere suddivisi in tre gruppi:

(a) Parametri del capannone

(b) Caratteristiche della capriata

(c) Proprietà del monaco

Figura 24.75 – Parametri per la creazione del capannone

2. Cliccando sul controllo *Tipo capriata* si aprirà una lista con le tipologie più diffuse di capriate; scegliere *Arco* per definire una capriata ad arco (vedi figura 24.76(a))

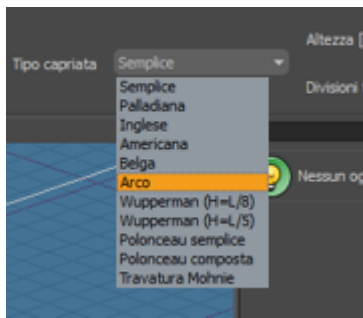
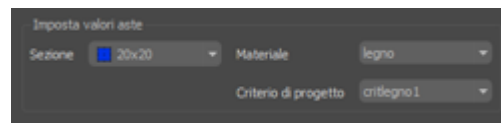
3. Cliccando sul tasto *Valori aste* si definiscono gli elementi tipo della capriata (sezioni, materiali e criteri di verifica); scegliere *Legno* per *Materiale*, e *critlegno1* per *Criterio di verifica* (vedi figura 24.76(b))

(a) Scelta del tipo

(b) Caratteristiche degli elementi

Figura 24.76 – Scelta dei parametri della capriata

4. Portandosi nella finestra grafica cliccare, con il tasto sinistro del mouse, sul punto, in basso a destra, per fissare il primo estremo del capannone

5. Spostandosi verso sinistra si varierà, in maniera interattiva, il valore della luce del capannone

6. Cliccare sul punto in basso a sinistra (in questo caso, coincidente con l'origine del riferimento) per fissare la luce del capannone

*Come per tutti i comandi di creazione di **IperSpace MAX**®, è possibile cambiare qualsiasi parametro anche mentre si è già in fase di disegno (basta portarsi con il mouse nella barra di controllo e modificare opportunamente ciò che si vuole). Questa, come altre, è una caratteristica unica di **IperSpace MAX**®.*

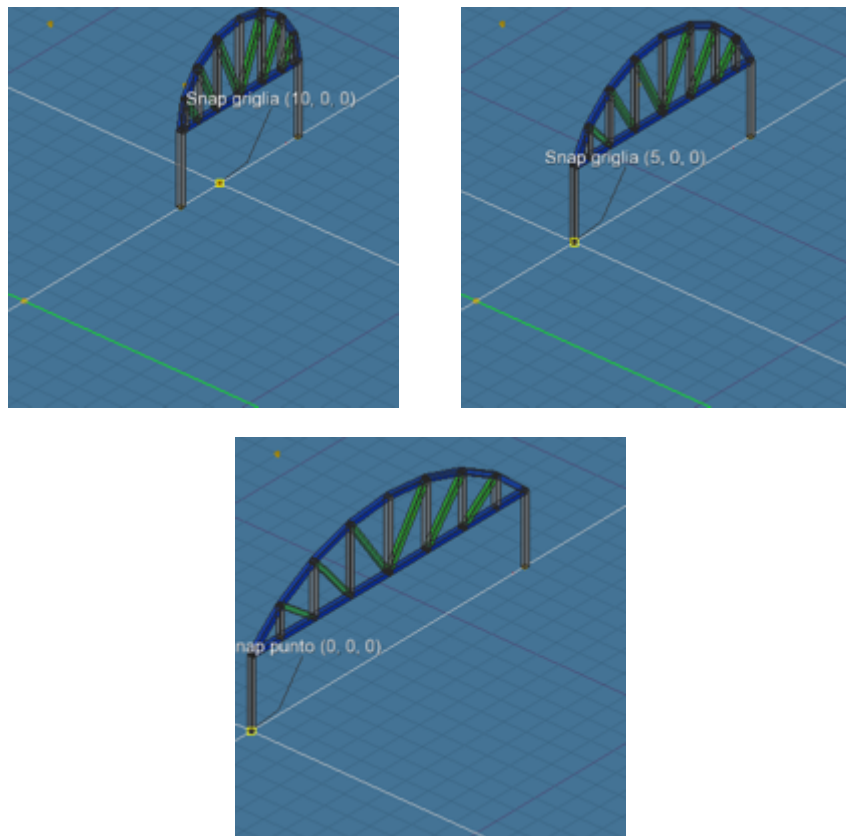



Figura 24.77 – Variazione interattiva della luce del capannone

7. Muovendo il mouse in direzione Y positiva portarsi sul punto sinistro intermedio

8. Cliccare, con il tasto sinistro del mouse, per fissare la luce della prima campata

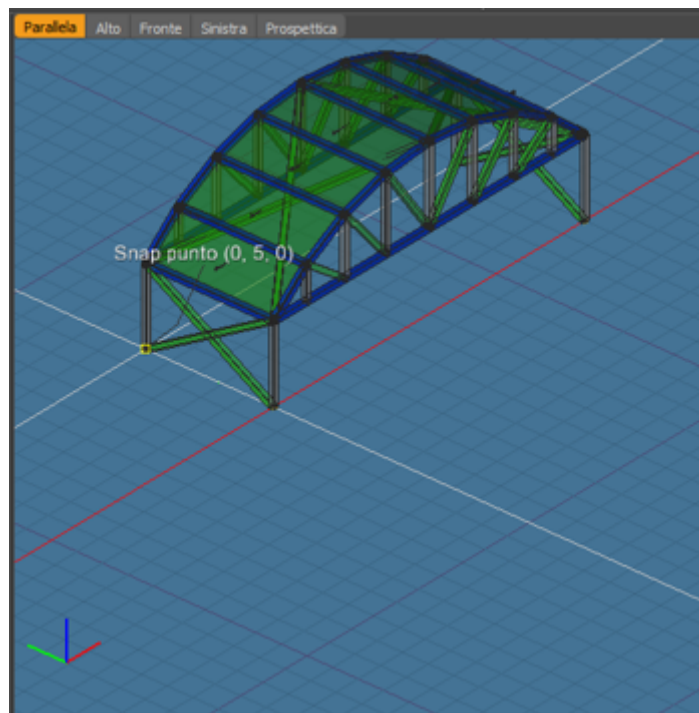



Figura 24.78 – Definizione della prima campata

9. Ripetere le operazioni dei due punti precedenti per definire le campate successive
10. Cliccare su Ok o premere ↵ per concludere l'inserimento

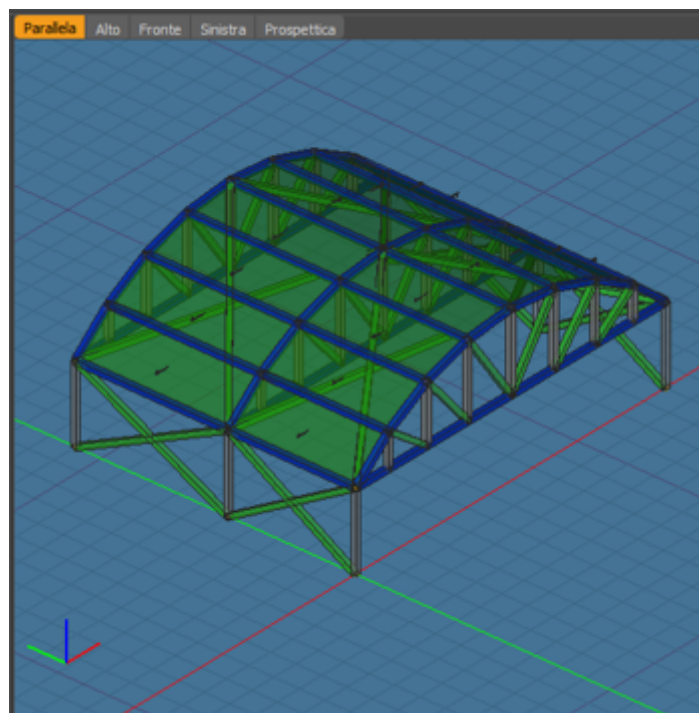



Figura 24.79 – L'inserimento del capannone completato

Una volta terminato l'inserimento del capannone, eventualmente si volessero apportare delle modifiche ai suoi parametri, basta selezionare, dal navigatore degli oggetti, il suo nodo principale e agire sulle proprietà, nel gestore sulla destra.

Modificare un capannone parametrico

1. Cliccare sul tab *Fronte*
2. Espandere, dal navigatore, il nodo *Capannoni* e selezionare il nodo principale *Capannone_0*

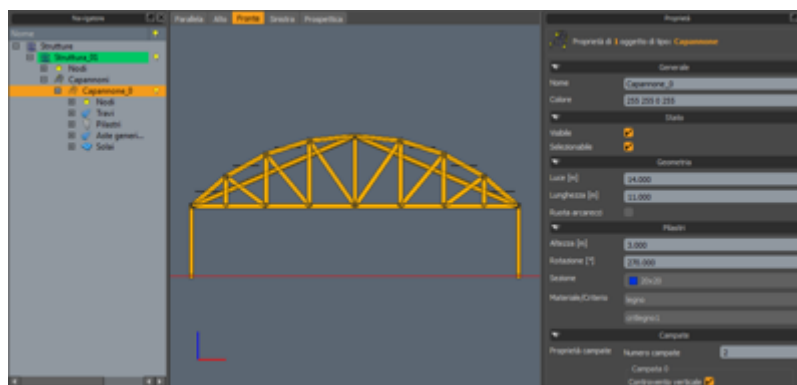
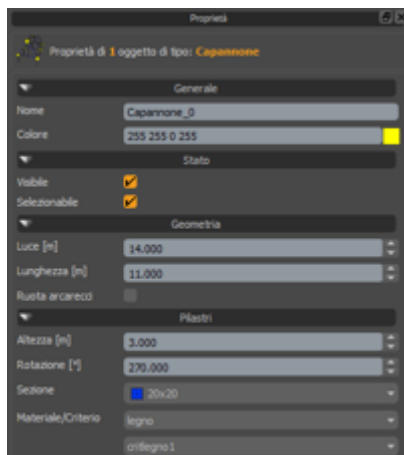
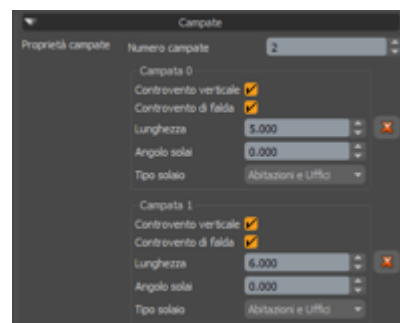
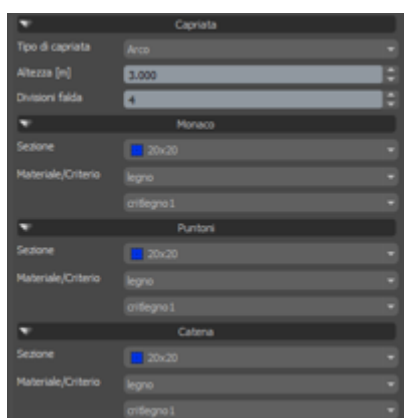



Figura 24.80 – Selezione parametrica del capannone

Nelle figura 24.81 sono riportati i parametri modificabili del capannone, divisi per sezione.

(a) Geometria e dati dei pilastri

(b) Proprietà delle campate

(c) Dati della capriata

(d) Altri dati della capriata

(e) Caratteristiche degli arcarecci

Figura 24.81 – Proprietà parametriche del capannone

È sempre possibile collassare/espandere le varie sezioni del gestore delle proprietà in modo da lasciare aperte solo quelle che necessitano di modifiche.

Per visualizzare tutte le sezioni del gestore delle proprietà è possibile scrollarne il contenuto cliccando con il tasto sinistro del mouse, in un punto non interessato dai controlli, e mantenendolo trascinare il mouse nelle due direzioni.

3. Modificare l'*Altezza* ed le *Divisioni falda*, nella sezione *Capriata*, dando dei valori rispettivamente di *2* e *6*

   Il capannone si aggiorna immediatamente (come mostrato in figura 24.82).

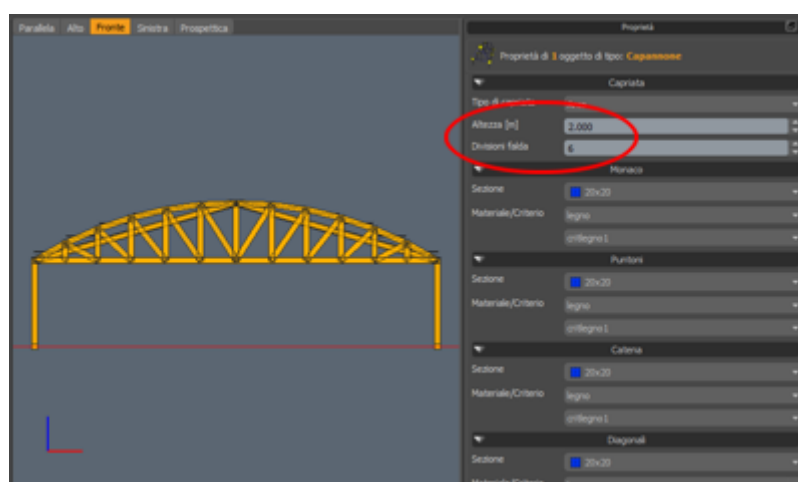



Figura 24.82 – Il capannone nella nuova configurazione

*Eventualmente si volesse effettuare un calcolo per il capannone creato, impostare nell'ambiente **FEM**, la proprietà **Deformabile** per gli impalcati di calcolo.*

25 Meshing

Una delle novità che contraddistingue **IperSpace MAX®** è la presenza di *Space Mesher* un algoritmo per la soluzione della problematica del meshing relativamente agli elementi strutturali bidimensionali come platee, piastre che interagiscono con elementi verticali come pilastri, muri, ecc.

Space Mesher garantisce la congruenza multipla tra domini anche molto complessi.

25.1 Meshing di una platea

Relativamente alla struttura realizzata nella [Modellazione da una pianta], § 24.1 a pagina 379 si vuole inserire una platea di fondazione al disotto dei pilastri del primo impalcato.

Inserire una platea

1. Aprire, attraverso la voce, File ▷ Apri, la struttura salvata alla fine della [Modellazione da una pianta], § 24.1 a pagina 379

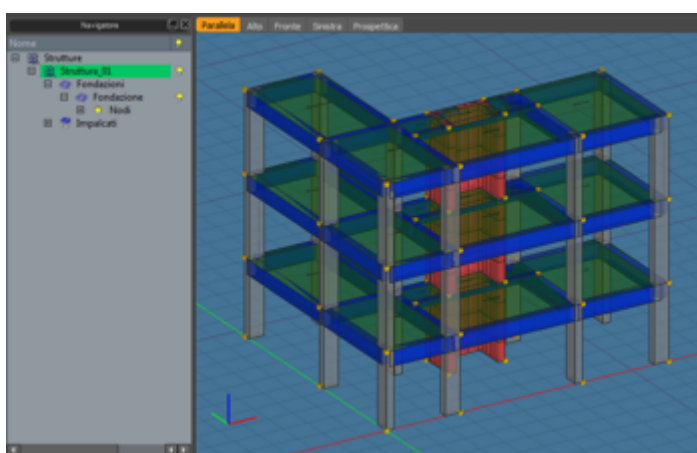



Figura 25.1 – La struttura priva di fondazione

2. Dal navigatore, espandere il nodo *Fondazioni* e a sua volta il nodo *Nodi*

3. Selezionare tutti i nodi, cliccando sul primo e successivamente sull'ultimo mantenendo premuto il tasto Shift ⇑

   I nodi in fondazione saranno tutti selezionati.

4. Dal menu *Visualizza* scegliere la voce Visualizza ▷ Nascondi non selezionati

   Saranno visualizzati solo i nodi della fondazione, essendo stati selezionati; il resto della struttura, per comodità di modellazione, viene nascosto temporaneamente.

5. Cliccare sul tab *Alto* della finestra grafica

   La situazione corrente è quella mostrata in figura 25.2

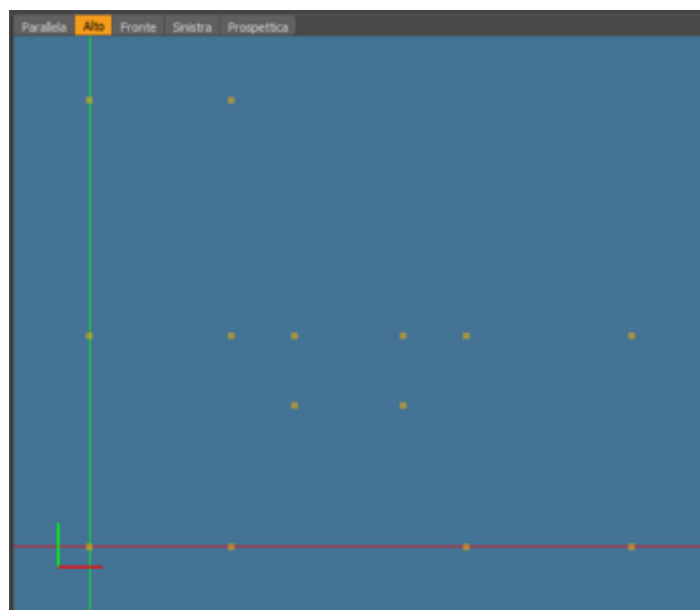



Figura 25.2 – I nodi in fondazione visti in pianta

6. Cliccare sul comando Crea ▷ Platea (vedi [Platea], § 19.2.9 a pagina 276)

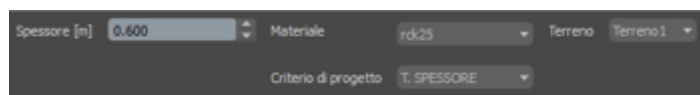



Figura 25.3 – Parametri per l'inserimento della platea

   Nella barra di controllo appariranno i parametri per l'inserimento, come in figura 25.3, dove è possibile scegliere lo *Spessore*, il *Terreno*, il *Materiale* e il *Criterio di verifica*.

7. Portarsi nella finestra grafica ed iniziare l'inserimento della platea cliccando, con il tasto sinistro del mouse, sui *6* nodi più esterni;

partire da quello coincidente con l'origine e proseguire, in maniera ordinata (come mostrato in figura 25.4), in senso orario, con gli altri

Nel caso in cui i nodi di contorno su un lato non siano perfettamente allineati occorre cliccare in nodo ordinato su ognuno di essi; in altre parole solo se si è certi che tutti i nodi, apparentemente appartenenti a una linea, siano effettivamente allineati sarà possibile cliccare solo sul primo e sull'ultimo.

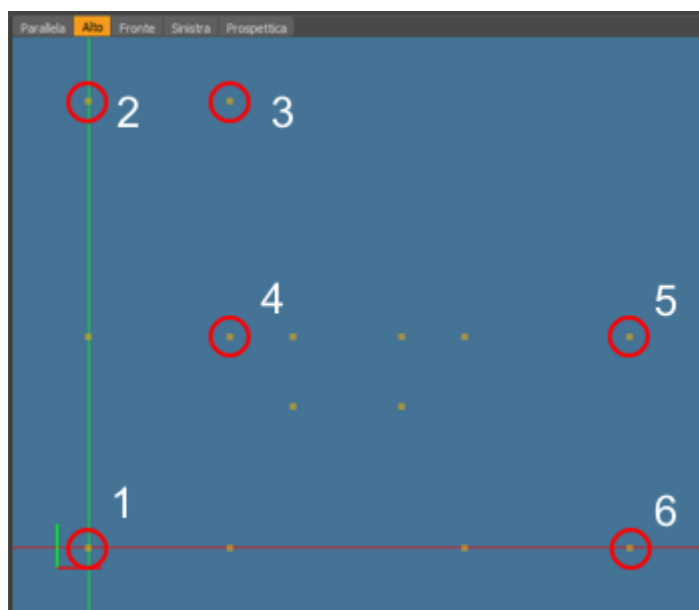



Figura 25.4 – Ordine di inserimento dei vertici della platea

8. Cliccare su Ok o su ⏎ per terminare l'inserimento

Generare la mesh

Una volta concluso il disegno della platea si passa al meshing.

1. Selezionare la platea, cliccando, con il tasto sinistro del mouse, nel dominio della stessa

   Nel gestore delle proprietà, tra gli altri, compariranno i parametri relativi alla mesh.

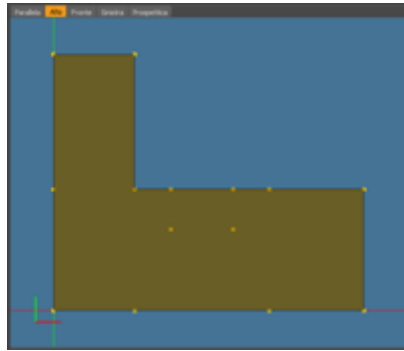
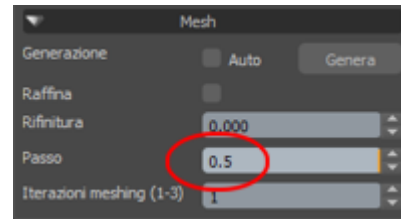
2. Impostare per il *Passo* il valore, espresso in metri, di *0.5* (come mostrato in figura 25.5(b)); questo indica la lunghezza massima del passo sulla frontiera della platea

(a) La platea selezionata

(b) I parametri per la mesh

Figura 25.5 – Parametri per la generazione della mesh per la platea selezionata

3. Cliccare sul tasto *Genera*

   La mesh della platea sarà generata quasi istantaneamente, come mostrato in figura 25.6

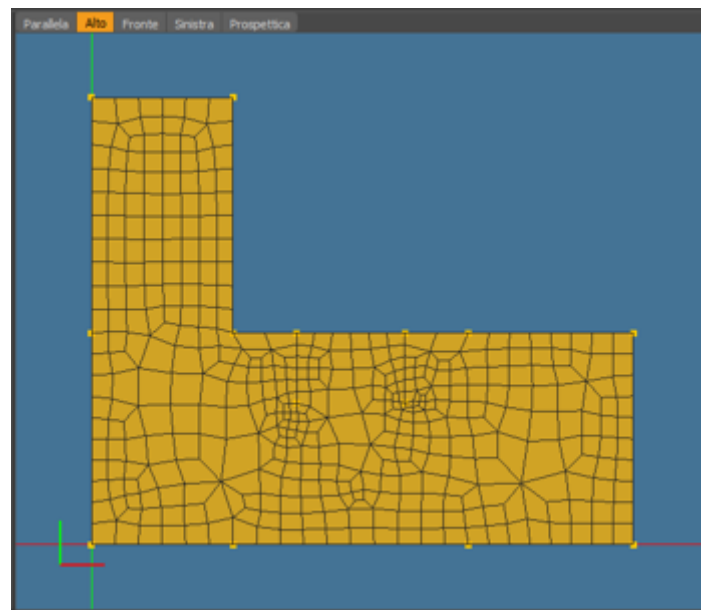



Figura 25.6 – La mesh generata

4. Cliccare sulla voce Visualizza ▷ Visualizza tutti per rendere visibile tutta la struttura

5. Cliccare sul tab *Parallela* per visualizzare il complessivo in assonometria

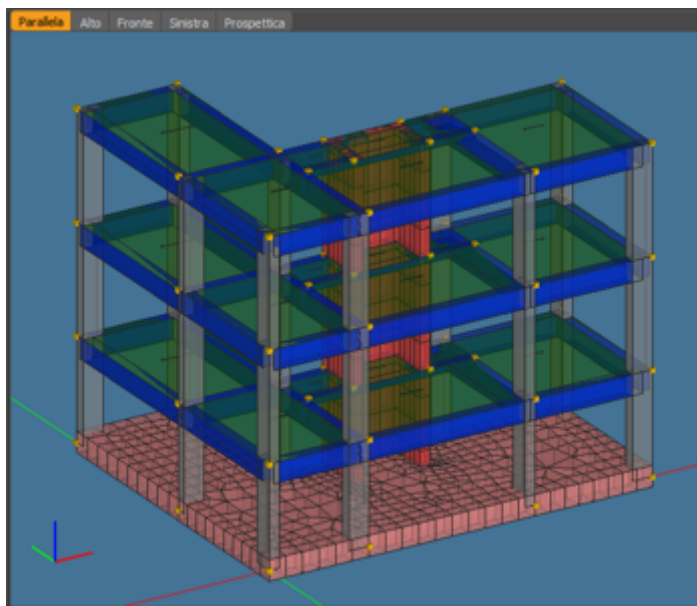



Figura 25.7 – La struttura completa di platea in vista assonometrica

Nel caso di platea che fuoriesce dal contorno l'inserimento sarebbe simile; in questo caso si farebbe riferimento ai soli punti esterni, senza interessarsi all'allineamento dei nodi di contorno sui vari lati.

Facendo riferimento alla [Meshing di una platea], § 25.1 a pagina 425, volendo creare un *offset* di 50 cm su tutto il contorno conviene operare nel seguente modo:

Inserire un offset sulla platea

Si considerino i nodi di fondazione mostrati in figura 25.4 a pagina 427.

I sei nodi principali del contorno esterno possono essere visti come appartenenti a due figure ad "L"; la prima, interna, costituita dai nodi *3*, *4* e *5*, la seconda, esterna, dai nodi *2*, *1* e *6*.

1. Selezionare, con un click del mouse, il nodo *3* e tenendo premuto il tasto Ctrl i restanti *4* e *5* di figura 25.4 a pagina 427
2. Dal menu *Modifica*, scegliere la voce Modifica ▷ Copia ▷ Copia spostando (vedi [Copia spostando], § 17.8.2.1 a pagina 249)

   Nella barra di controllo appariranno i parametri relativi alla copia.
3. Inserire il valore, in metri, *0.50* nei controlli *dX* e *dY*

Figura 25.8 – Spiazzamento nelle due direzioni *X* e *Y*

4. Cliccare su Ok per confermare

Nella figura 25.9 sono visibili i tre nuovi nodi (evidenziati con un cerchietto rosso).

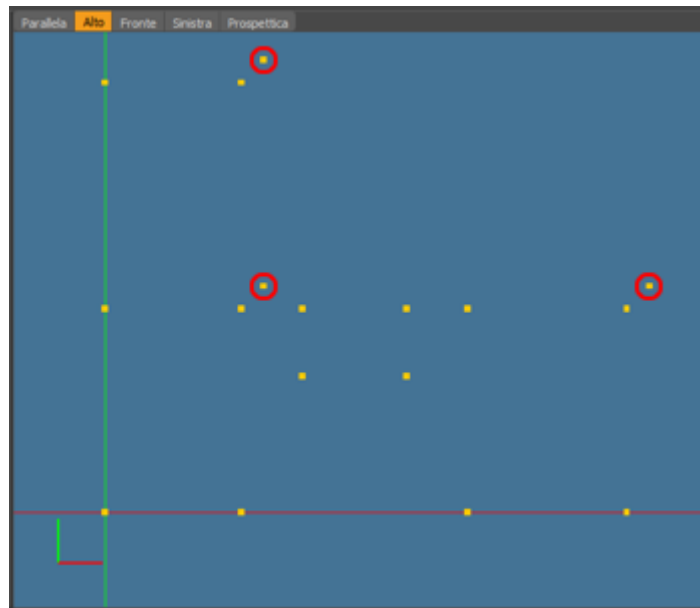



Figura 25.9 – I tre nuovi nodi creati, sul lato interno

5. In modo analogo, facendo riferimento alla figura 25.4 a pagina 427, selezionare il nodo *2*
6. Scegliere la voce Modifica ▷ Copia ▷ Copia spostando
7. Inserire nei campi *dX* e *dY* rispettivamente i valori *-0.50* e *0.50*
8. Cliccare su Ok
9. Selezionare il nodo *1*
10. Scegliere la voce Modifica ▷ Copia ▷ Copia spostando
11. Inserire nei campi *dX* e *dY* rispettivamente i valori *-0.50* e *-0.50*
12. Cliccare su Ok

    Infine

13. Selezionare il nodo *6*
14. Scegliere la voce Modifica ▷ Copia ▷ Copia spostando
15. Inserire nei campi *dX* e *dY* rispettivamente i valori *0.50* e *-0.50*
16. Cliccare su Ok per terminare

    La situazione finale è visibile in figura 25.10 a fronte.

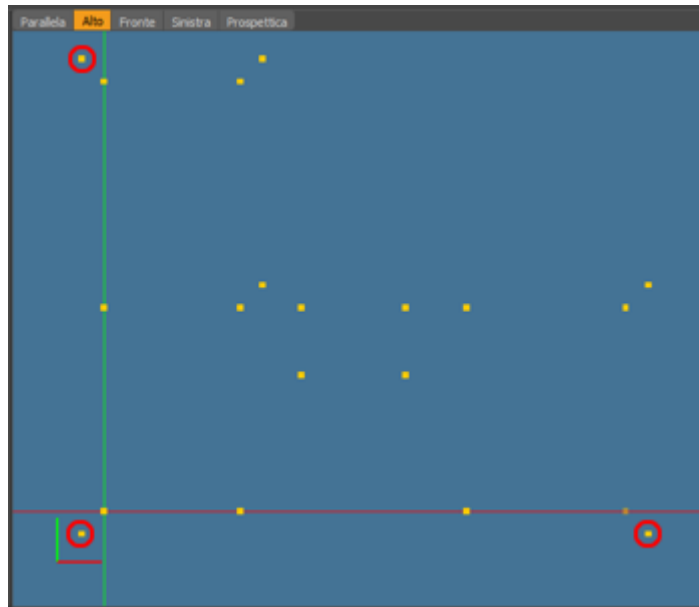



Figura 25.10 – I tre nuovi nodi creati, sul lato esterno

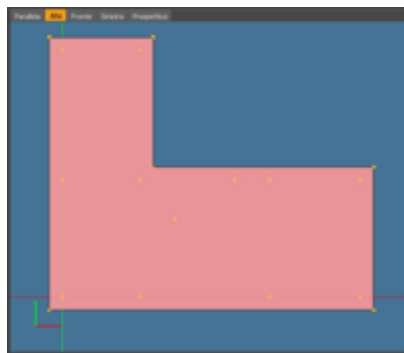
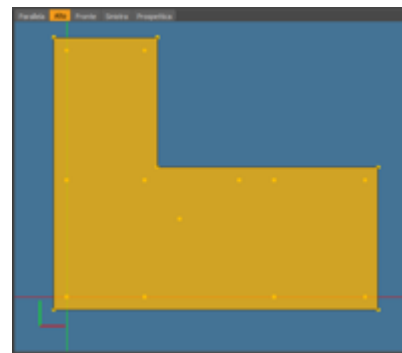
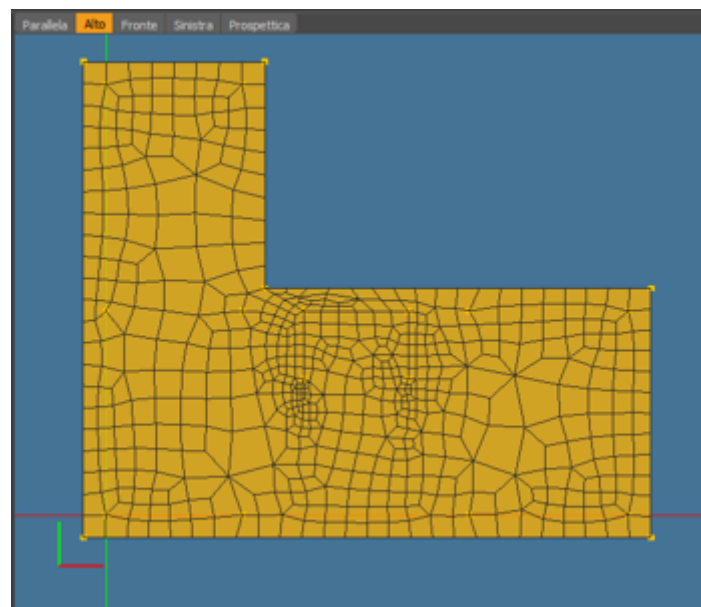
17. Come fatto in precedenza, invocare il comando Crea ▷ Platea
18. Portarsi nella finestra grafica ed iniziare l'inserimento della platea cliccando, con il tasto sinistro del mouse, sui *6* nuovi nodi
19. Cliccare su Ok o premere ↵ per concludere (vedi figura 25.11(a) nella pagina successiva)
20. Selezionare la platea (vedi figura 25.11(b) nella pagina seguente)
21. Nel gestore delle proprietà, impostare per il *Passo* il valore, espresso in metri, di *0.5*
22. Cliccare sul tasto *Genera* per creare la mesh (vedi figura 25.11(c) nella pagina successiva)

(a) La nuova frontiera della platea

(b) La platea selezionta

(c) La mesh generata

Figura 25.11 – La platea con l'offset

23. Cliccare sulla voce Visualizza ▷ Visualizza tutti per rendere visibile la nuova struttura

24. Cliccare sul tab *Parallela* per visualizzarla in assonometria (come mostrato dalla figura 25.12 a fronte)

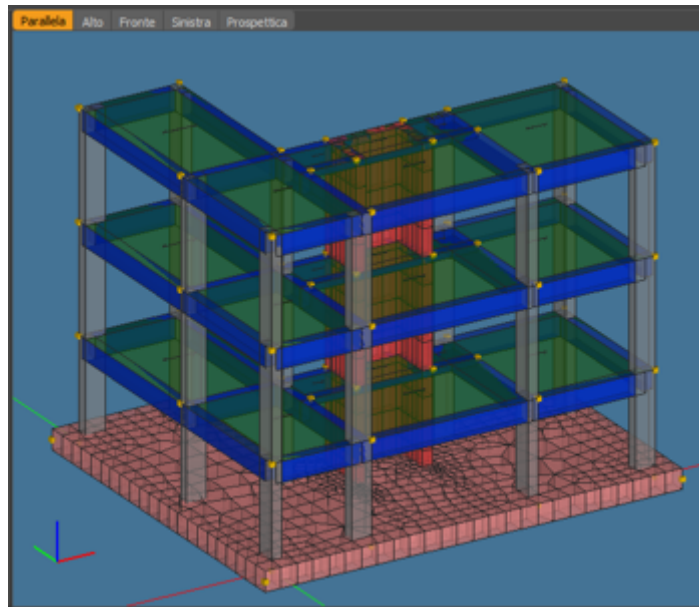



Figura 25.12 – La struttura con la nuova platea in vista assonometrica

26

Calcolo secondo le Norme NT

Indice

In questo capitolo si illustra il corretto approccio al calcolo, secondo la normativa NT, con **IperSpace MAX**®.

Opereremo, per semplicità, su una struttura già modellata reperibile tra gli esempi a corredo di **IperSpace MAX**®.

Aprire la struttura

1. Scegliere la voce di menu File ▷ [Apri], § 16.1.2 a pagina 185
2. Caricare il file *spc* `Esempio_01.spc` dal percorso `C:\Soft.Lab\IperSpaceMax4\Esempi\Completi`

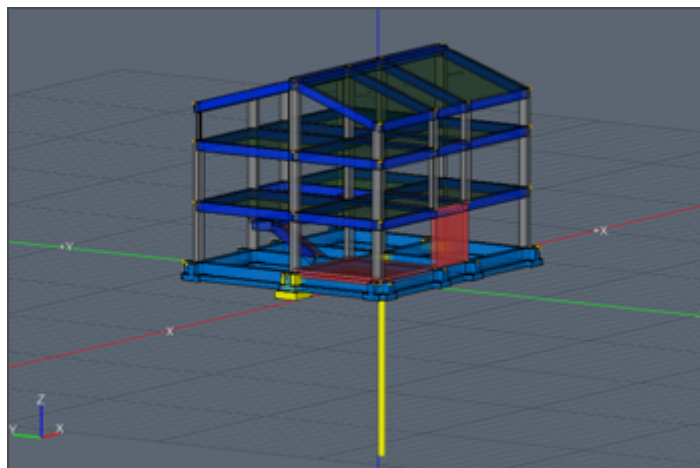
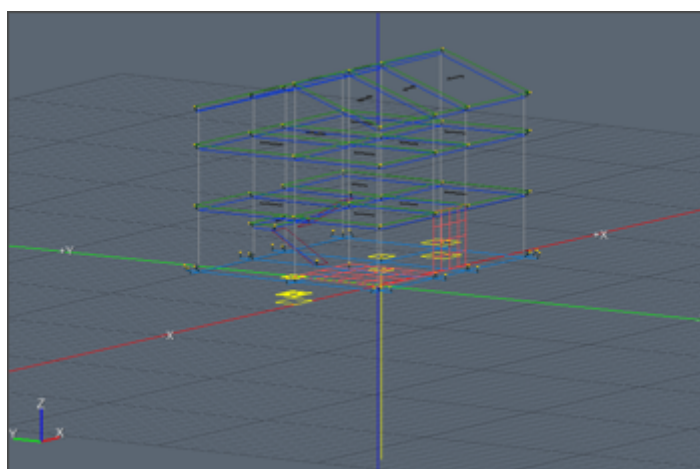
Il percorso dove reperire il file spc del nostro esempio, potrebbe essere diverso da quello indicato, in quanto dipende da dove è stato installato ***IperSpace MAX***®*; eventualmente, sostituire alla lettera identificativa dell'unità disco "C ", quella più appropriata.*

(a) Il modello solido

(b) Il modello fem

Figura 26.1 – La struttura di esempio

26.1 Calcolo

Assegnazione dei gruppi

Per eseguire il calcolo bisogna effettuare i seguenti passi:

1. Selezionare la fondazione (nodi, aste, platee, plinti, ecc.) con i propri vincoli (*winkler* per fondazioni superficiali e *liberi* per fondazioni profonde).

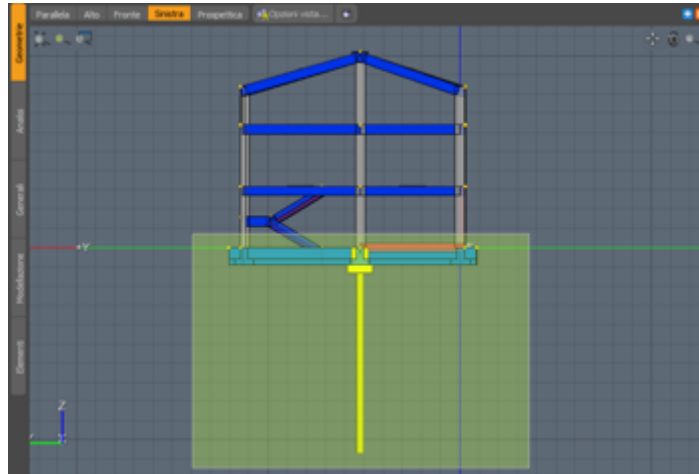



Figura 26.2 – Selezione con finestra dell'intera fondazione

Nella figura 26.2 è mostrato il tipo di selezione da preferire per includere tutti gli oggetti del nodo "Fondazione" del navigatore. La selezione, in questo caso, si effettua con una finestra che si apre da sinistra verso destra in modo da escludere gli elementi intersecati dalla frontiera della stessa.

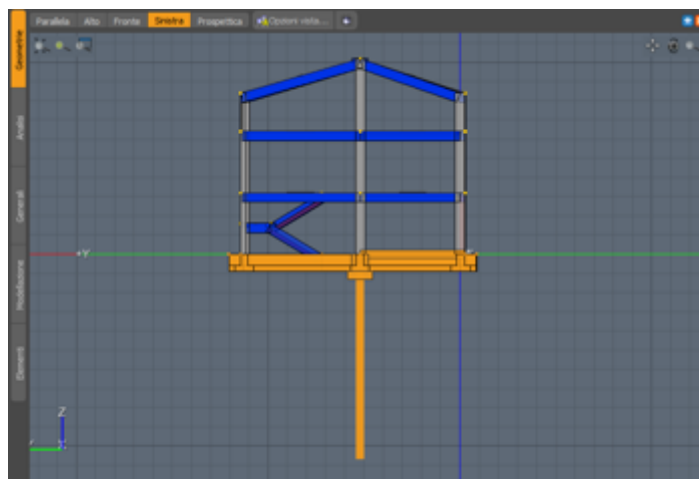



Figura 26.3 – L'intera fondazione selezionata

1.1 Dal [Gestore delle proprietà], § 15.4.6 a pagina 173 assegnare gli elementi selezionati al *Gruppo* Fondazione:

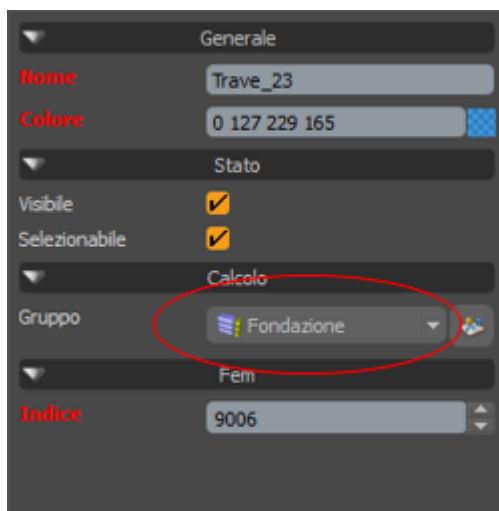



Figura 26.4 – Assegnazione al gruppo Fondazione

1.2 Dalla sezione *Gruppi* della tavolozza [Analisi], § 15.4.4.2 a pagina 162 disattivare il gruppo *Fondazione* nella colonna *Masse*.

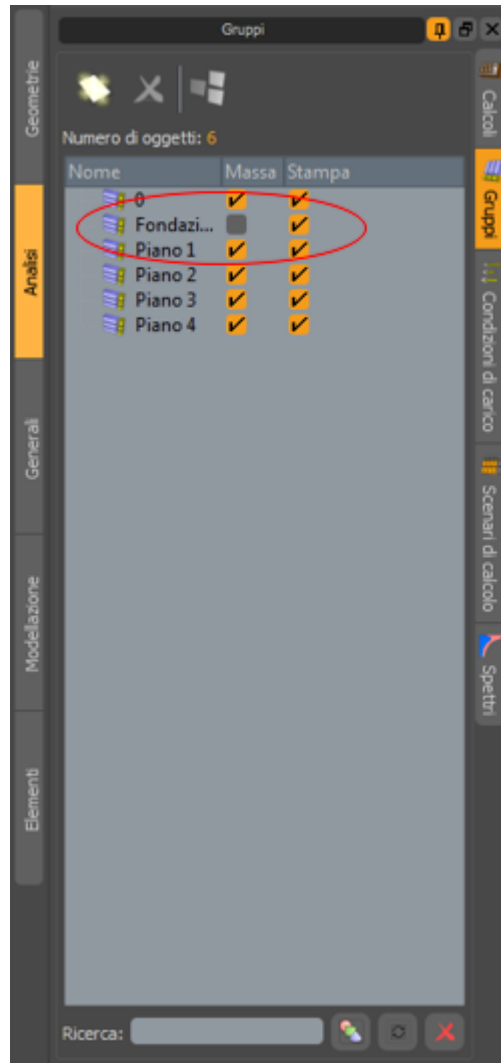



Figura 26.5 – Impostazione dei gruppi

Baricentri delle rigidezze

2. Portarsi nella sezione *Calcoli* della tavolozza [Analisi], § 15.4.4.2 a pagina 162

   La sezione, come mostrato in figura 26.6 nella pagina seguente, riporterà due tipologie di calcolo predefinite.

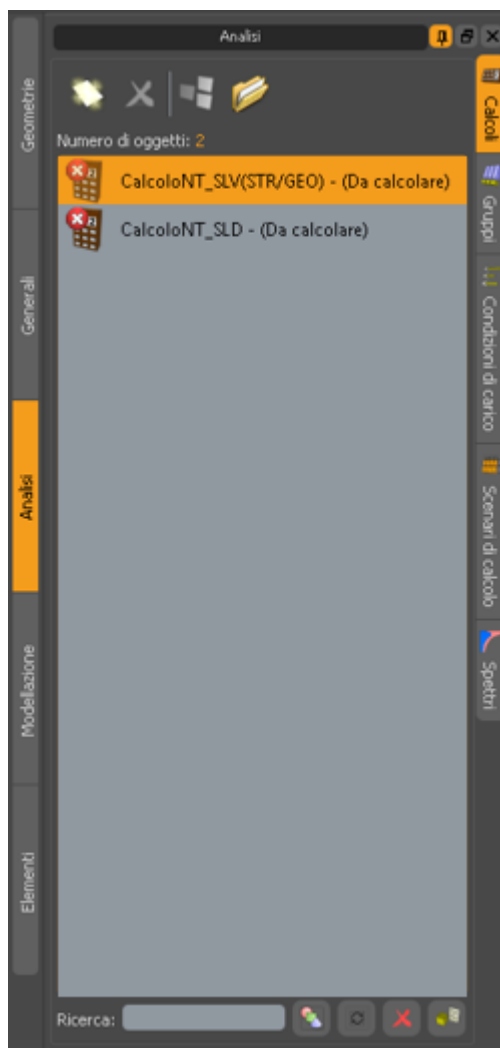



Figura 26.6 – Calcoli predefiniti

Sulla [Barra di controllo], § 15.4.3 a pagina 161 compariranno una serie di icone per eseguire operazioni di postprocessing. Molte icone non sono attive in quanto non è stato eseguito alcun calcolo.

Figura 26.7 – Barra di controllo per i calcoli

2.1 Cliccare sull'icona , si aprirà il menu contestuale riportato in figura 26.8(a) a fronte

(a) Le voci disponibili

(b) La voce selezionata

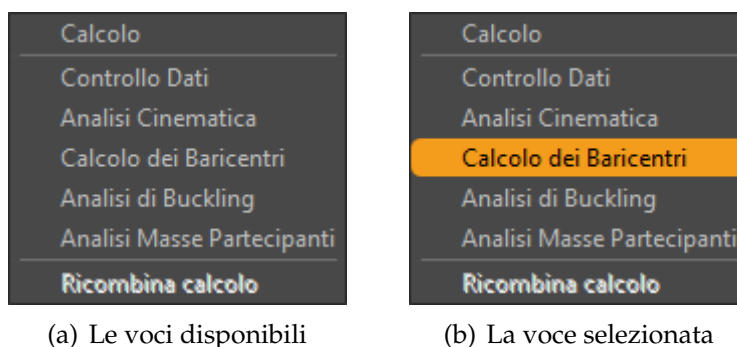



Figura 26.8 – Menu di calcolo

2.2 Selezionare la voce Calcolo dei Baricentri, come evidenziato in figura 26.8(b)
Verrà eseguito il calcolo; al termine, nella barra di controllo risulterà attiva l'icona che attesta che il calcolo è andato a buon fine

2.3 Cliccare sull'icona in oggetto
Si aprirà il gestore delle stampe che mostrerà, come riportato dalla figura 26.9, i risultati del calcolo.

IperSpaceMax 2.0.0 Copyright® 2010 Soft.Lab:

Centri di rigidezza e Centri di massa

Centri rigidezze

Piano	Kx	Ky	Kxy	Kθ	X	Y	r/ls
	kg/cm	kg/cm	kg/cm	kg*cm/rad	cm	cm	
1	4.282332E05	2.743432E05	3.140618E03	1.323577E11	676	231	1.063
2	9.190866E04	6.969358E04	4.047680E02	3.901706E10	680	390	1.245
3	5.844730E04	4.214071E04	3.215338E02	2.674597E10	684	412	1.293

Ellissi delle rigidezze

Piano	K_ξ	K_η	alfa	r_ξ	r_η
	kg/cm	kg/cm	°	cm	cm
1	4.282973E05	2.742791E05	1	556	695
2	9.191604E04	6.968621E04	1	652	748
3	5.845364E04	4.213438E04	1	676	797

Figura 26.9 – I risultati del calcolo dei baricentri

Quindi verificare il rapporto r/l_s. Se, anche ad un solo piano, questo rapporto è <0.8 la struttura è **torsionalmente deformabile** e di ciò bisogna tener conto nella generazione dello *spettro di progetto*, nella selezione della tipologia dell'edificio.

A prescindere è consigliabile modificare il modello in modo da rendere, per quanto possibile, la struttura NON torsionalmente deformabile.

Nella barra di controllo compare l'opzione *Disegna* che, qualora venga abilitata, disegna graficamente, per ogni impalcato, i centri delle rigidezze e le relative ellissi, come mostrato in figura 26.10.

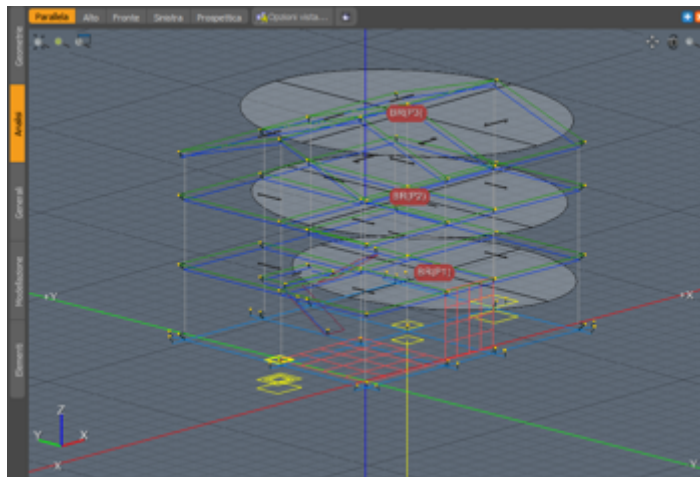



Figura 26.10 – Centri ed ellissi delle rigidezze

Impostazione degli spettri

3. Portarsi nella sezione *Spettri* della tavolozza [Analisi], § 15.4.4.2 a pagina 162

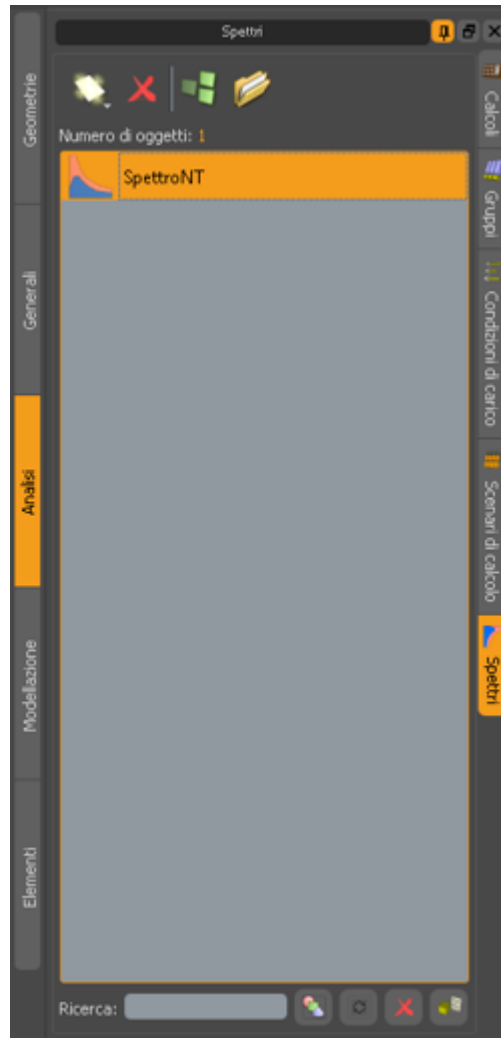
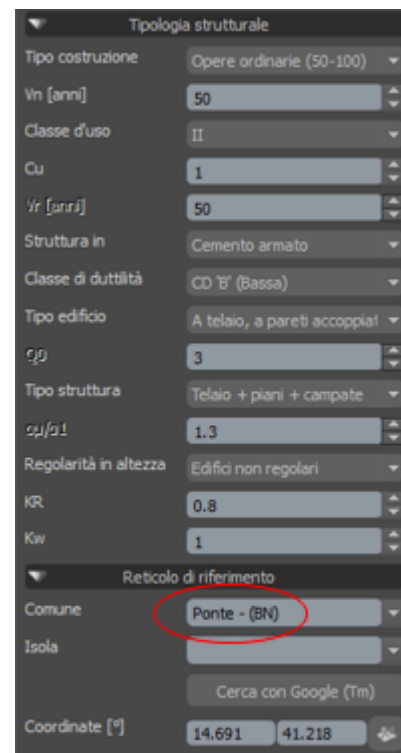
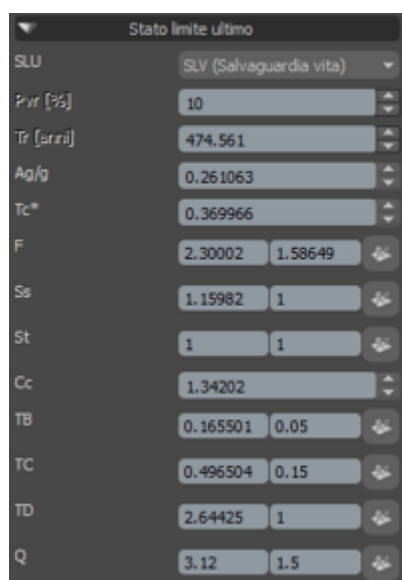
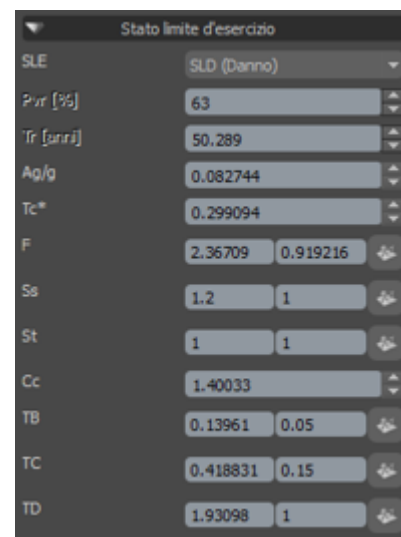



Figura 26.11 – Spettri predefiniti

Nel caso in esame figura lo spettro di progetto **SpettroNT**; l'accelerazione sismica è ridotta del fattore q (fattore di struttura) che dipende dalla capacità dissipativa della struttura, cioè dalla sua duttilità.

Lo **SpettroNT_Vert** serve per eseguire un'analisi per sisma verticale (grandi sbalzi, pilastri in falso e travi di luce oltre i 20 m).

3.1 Cliccare sulla voce *SpettroNT*, come indicato dalla figura 26.11 Nel [Gestore delle proprietà], § 15.4.6 a pagina 173 compariranno tutti i parametri per ricalcolare lo spettro in dipendenza della zona geografica d'interesse.

(a) Generali

(b) Tipologia strutturale con reticolo

(c) Dati per lo SLU

(d) Dati per lo SLE

Figura 26.12 – Parametri dello spettro

3.2 Inserire il comune di interesse e confermare con [⏎], come mostrato in figura 26.12(b)

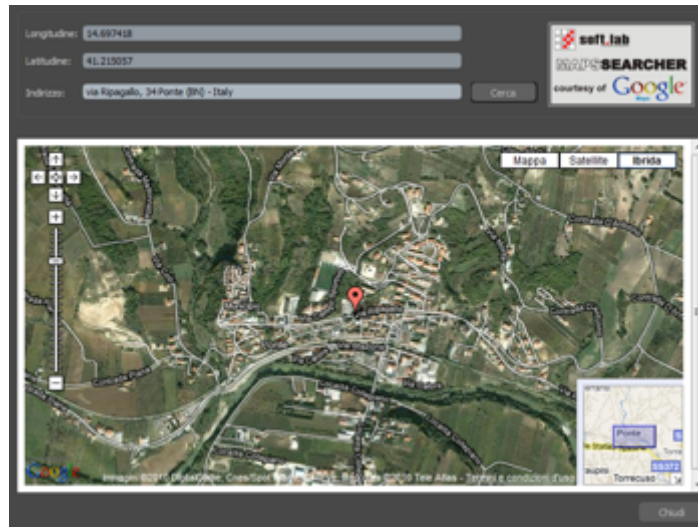



Figura 26.13 – Ricerca indirizzo con il sistema **GoogleMaps®**

3.3 Dopo aver effettuato tutte le scelte del caso cliccare sul tasto Ricalcola, come dalla figura 26.12(a) a fronte.
In questo modo si otterrà lo spettro di progetto per SLU e SLD.

La pressione del tasto Ricalcola *sarebbe superflua qualora si abilitasse il controllo* Ricalcolo automatico, *come evidenziato nella figura 26.12(a) nella pagina precedente. Ciò infatti, permette l'aggiornamento dello spettro a seguito di una modifica di qualsiasi parametro.*

Se si ha la necessità di specificare un indirizzo preciso è possibile avvalersi del servizio, integrato in ***IperSpace MAX®****, messo a disposizione da* ***GoogleMaps®*** *cliccando sul bottone* Cerca con Google(TM) *(vedi figura 26.13).*

Impostazione degli scenari

4. Portarsi nella sezione *Scenari di calcolo* della tavolozza [Analisi], § 15.4.4.2 a pagina 162

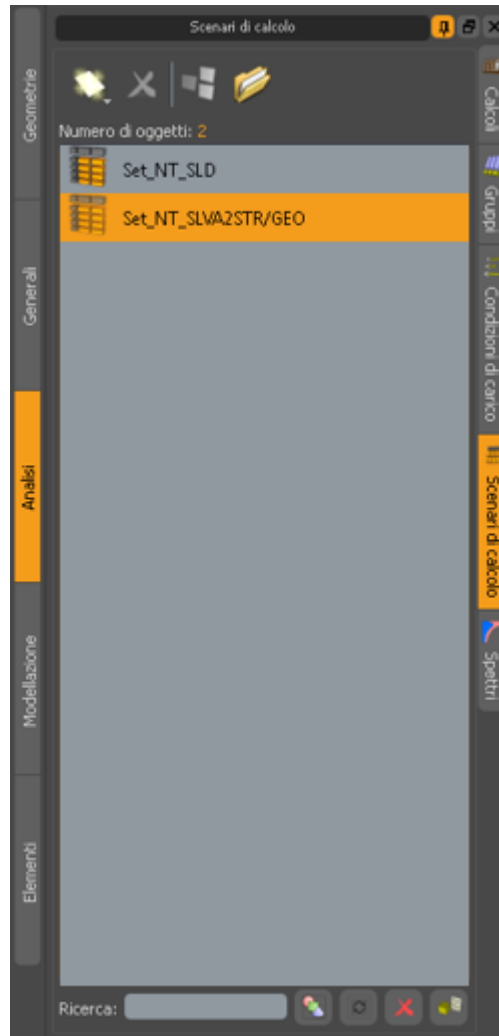



Figura 26.14 – Scenari predefiniti

Come si vede dalla figura 26.14, a parte gli scenari delle norme precedenti, per le *Norme Tecniche* esistono 2 scenari di calcolo:

Set_NT_SLVA2STR/GEO è lo scenario principale, utilizzato per il calcolo, la verifica e il disegno della struttura di elevazione e per trasmettere i carichi amplificati sulla fondazione esportata.

Set_NT_SLD viene usato per il calcolo allo stato limite di danno (SLD) e consente la verifica degli spostamenti degli impalcati e le verifiche delle membrature agli stati limiti di esercizio (SLE).

Qualora l'utente volesse aggiungere nuove condizioni di carico allo scenario, deve valutare il tipo di carico (vedi [Condizioni di carico], § 22.3.3 a pagina 340):

- Peso proprio (G1)
- Carico fisso (G2)

- Carico variabile (Qk)

In base alla tipologia deve modificare i coefficienti nelle combinazioni di carico appartenenti allo scenario.

Anziché modificarli per tutte le condizioni di carico, conviene selezionare una intera riga trascinando il mouse, dall'inizio alla fine della stessa, in corrispondenza di una condizione di carico già presente dello stesso tipo, copiare la selezione con Ctrl + c , e portandosi all'inizio della riga interessata, incollarla con Ctrl + v .

Analoghe modifiche vanno eseguite anche nello scenario *Set_NT_SLD*, ma in questo caso sono più semplici essendo i coefficienti sempre unitari; dunque, in questo caso, una condizione di carico può essere attiva o meno.

La complessità di questi scenari dipende dal numero di tipi di carichi e dal numero di condizioni.

Nel caso di strutture in calcestruzzo in cui si possa trascurare l'effetto della neve, del vento e dei carichi termici gli scenari presentano il minimo numero di combinazioni (prototipo `Proto_CA.spc`), come nel caso della struttura in esame.

Nella figura 26.15 è rappresentato lo scenario tipico agli stati limite relativo al prototipo `Proto_CA.spc`.

Figura 26.15 – Scenario *Set_NT_SLVA2STR/GEO*

Quando si vuol tener conto della neve e dei carichi termici le combinazioni aumentano sensibilmente (prototipo `Proto_CA_Neve_Termico.spc`). Per le strutture in acciaio e legno dove c'è la necessità di tener conto della neve, del vento e dei carichi termici le combinazioni diventano tante (prototipo `Proto_CA_Acciaio_Legno.spc`).

Predimensionamento

5. Portarsi nella sezione *Calcoli* della tavolozza [Analisi], § 15.4.4.2 a pagina 162

   Per eseguire un predimensionamento della struttura occorre eseguire il calcolo con lo scenario *Set_NT_SLVA2STR/GEO* e per rendere l'operazione più veloce conviene eseguire il calcolo per una sola posizione delle masse.

   5.1 Selezionare il calcolo *CalcoloNT_SLV(STR/GEO)*, come da figura 26.16

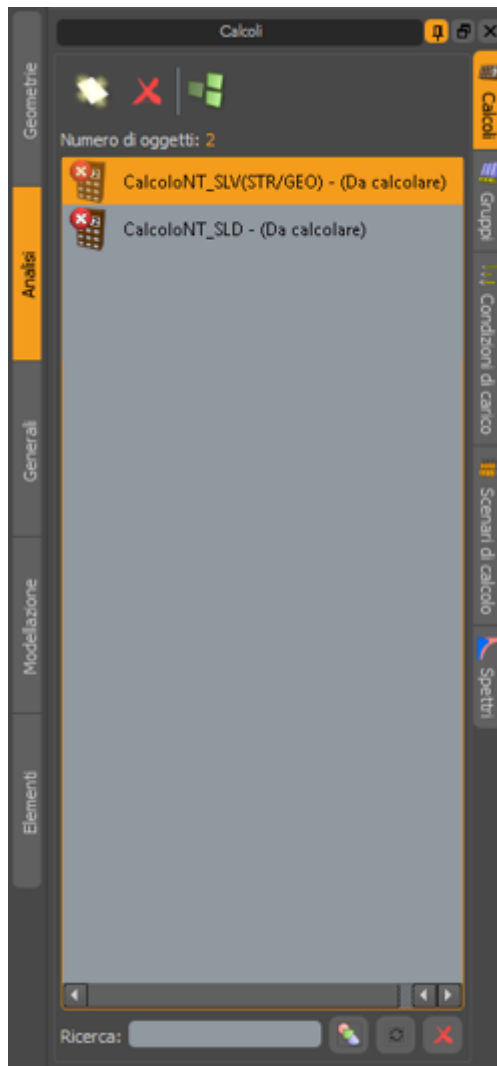



Figura 26.16 – Scelta del calcolo *CalcoloNT_SLV(STR/GEO)*

   5.2 Dal [Gestore delle proprietà], § 15.4.6 a pagina 173 portarsi nella sezione *Impalcati*, cliccando sul bottone Vai alla sezione e scegliendo la voce del menu corrispondente Impalcati

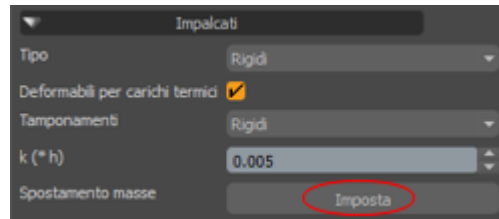



Figura 26.17 – Sezione *Impalcati* delle proprietà del calcolo

5.3 Cliccare sul bottone Imposta, come mostrato in figura 26.17
Apparirà il dialogo di figura 26.18. Come si nota, il calcolo è predisposto per le 4 posizioni delle masse.

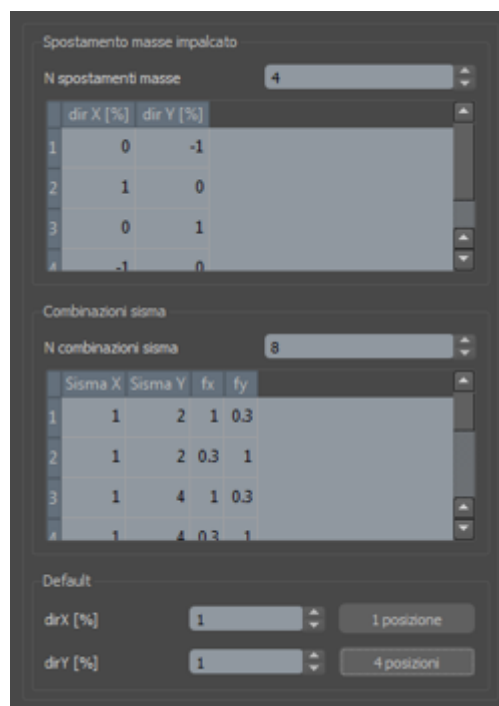



Figura 26.18 – Posizione delle masse

5.4 Cliccare sul bottone 1 posizione per modificare direttamente il valore della grandezza *N spostamenti masse*
In questo modo invece di effettuare cinque calcoli se ne eseguiranno solo due (uno per carichi verticali e uno per azioni sismiche relative alla unica posizione delle masse).

5.5 Cliccare sull'icona , nella barra di controllo
Si aprirà il menu contestuale riportato in figura 26.8(a) a pagina 441.

5.6 Scegliere la voce Calcolo

Dopo qualche secondo, al termine del calcolo, tutte le opzioni della barra di controllo, saranno attive (come si evince dalla figura 26.19), eccetto quella per l'analisi di Buckling.

Figura 26.19 – Barra di controllo a calcolo concluso

5.7 Cliccare sull'icona dei *Periodi* per controllare se le masse eccitate abbiano raggiunto l'85%
Apparirà il gestore delle stampe con le grandezze cercate, come mostrato in figura 26.20.

IperSpaceMax 2.0.0 Copyright® 2010 Soft.Lab:

Periodi di vibrazione e Masse modali

Posizione masse 1
Numero di Frequenze calcolate =15, filtrate=12

N	T(s)	Coeff. Partecipazione		Masse Modali kgm*s		Percentuali	
		Dir=0°	Dir=90°	Dir=0°	Dir=90°	Dir=0°	Dir=90°
1(1)	0.4269	-87.556	131.309	73173	169076	20.82	46.83
2(2)	0.4010	-113.544	-109.670	126421	117942	35.01	32.66
3(3)	0.2871	94.505	-10.889	87580	1163	24.26	0.32
4(4)	0.1191	-40.589	45.521	16155	20319	4.47	5.63
5(5)	0.1115	36.839	58.412	13308	33457	3.69	9.27
6(9)	0.0788	-37.369	6.909	13694	468	3.79	0.13
7(10)	0.0769	13.590	-4.532	1811	201	0.50	0.06
8(11)	0.0752	-20.442	-9.765	4098	935	1.13	0.26
9(12)	0.0743	-24.688	-7.139	5977	500	1.66	0.14
10(13)	0.0696	-10.637	-15.933	1114	2489	0.31	0.69
11(14)	0.0674	13.067	-11.449	1674	1285	0.46	0.36
12(15)	0.0660	-10.804	17.535	1145	3015	0.32	0.84
Somma delle Masse Modali [kgm*s]				348148	350852		
Masse strutturali libere [kgm*s]				361078	361078		
Percentuale				96.42	97.17	96.42	97.17

Figura 26.20 – Periodi di vibrazione e masse modali

Si può notare che sono state eccitate oltre l'85% delle masse.

5.8 Cliccare sull'icona dei *Taglianti*

IperSpaceMax 2.0.0 Copyright® 2010 Soft.Lab:

Taglianti di piano

I taglianti sono dati per combinazioni di calcolo C-S-Pm con C=Combinazione(1,2,...) S=Sisma(I,II) Pm=posizione masse(1,2,...)
Azioni complessive, riferite al sistema WCS,con origine in (0,0,0),i momenti sono comprensivi dei momenti di trasporto
Θ=Fz*dr/(Fh*H) con: Fz=forza verticale,dr=spost medio del piano rispetto al piano inferiore,Fh=tagliante,H=altezza del piano

Combinazione 3-I-1 (SISMAX1)

Piano	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz	X	Y	Z	Θ
	kg	kg	kg	kg*m	kg*m	kg*m	mm	mm	mm	
0	-15374	1320	260520	490557	-366130	365341	6500	6096	-0	--
1	33648	-1471	-334263	193471	219644	-135360	6750	6096	3200	0.005548
2	44454	778	-218139	-18601	98060	-163250	6625	5462	6400	0.005839
3	21686	4669	-47726	-2864	6079	-38140	6625	3394	8400	0.001905

Piano	FxPilIsol	FyPilIsol	FxPar	FyPar	FxShell	FyShell	FxTot	FyTot
	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg
0	-36111	4708	0	0	21184	481	-15374	1320
1	33309	7960	0	0	17732	474	33648	-1471
2	44454	778	0	0	0	0	44454	778
3	21686	4669	0	0	0	0	21686	4669

Percentuali assorbite in direzione X

Piano	%PilIsol FX	%Par FX	%Shell FX
0	63.03	0.00	36.97
1	66.57	0.00	33.43
2	100.00	0.00	0.00
3	100.00	0.00	0.00

Percentuali assorbite in direzione Y

Piano	%PilIsol FY	%Par FY	%Shell FY
0	90.73	0.00	9.27
1	94.38	0.00	5.62
2	100.00	0.00	0.00
3	100.00	0.00	0.00

Figura 26.21 – Taglianti di piano

Verificare che $\Theta = F_z d_r/(F_h H)$ sia < 0.1; se:

- $0.1 < \Theta < 0.2$ il sisma deve essere amplificato per $1/(1-\Theta)$. In tal caso, questo rapporto (maggiore dell'unità) va posto nel *Fattore Sisma* delle combinazioni sismiche, dei vari scenari di calcolo, e va rieseguito il calcolo.
- $0.2 < \Theta < 0.3$ bisognerà eseguire l'analisi $P-\Delta$.
- $\Theta > 0.3$ la struttura andrà rivista dal punto di vista sismico.

Numerazione degli elementi

6. Prima di passare ai disegni è necessario numerare le aste e i muri

   6.1 Modifica ▷ [Rinumera pilastrate e travate], § 17.6.2.3 a pagina 245

   6.2 Successivamente eseguire le voci Modifica ▷ [Rinumera sequenziale], § 17.6.3.1 a pagina 246 e Modifica ▷ [Rinumera aggregando], § 17.6.3.2 a pagina 246

Disegni

7. Cliccare sul tab Carpenterie

   7.1 Cliccare sulla sezione *Navigazione* della tavolozza, come mostrato in figura 26.22 nella pagina seguente

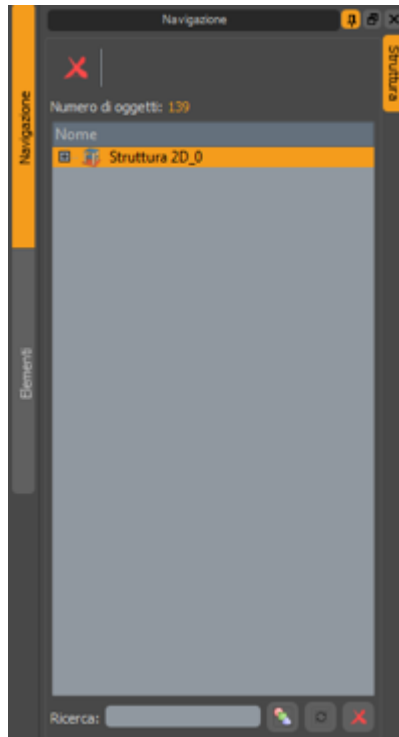



Figura 26.22 – Navigatore degli elementi 2D

7.2 Cliccare sul bottone Calcola-disponi armatura, sulla barra di controllo

In questo modo, si eseguiranno in automatico prima i disegni delle travate e successivamente quelli delle pilastrate (Calcolo Armatura, Disponi Armature e Aggiorna Staffe). Infine sarà la volta delle armature degli shell e delle pareti.

7.3 Una volta completata la fase precedente, cliccare sulla voce di menu Verifica ▷ Controlla non verificati

Ciò consente di visualizzare gli eventuali elementi non verificati per armatura disposta.

Non è attiva la possibilità di controllare gli elementi non verificati per gli SLE in quanto manca ancora il calcolo SLD.

Se non ci sono elementi non verificati per armatura disposta, è da ritenere che la struttura sia stata ben proporzionata. Bisogna ricordare però che per valutare in modo rapido la struttura, è stato eseguito un calcolo per una sola posizione delle masse.

Non è certo che la struttura non presenti qualche problema in seguito ai calcoli per le quattro posizioni delle masse.

Calcolo definitivo

8. Ritornare nell'ambiente 3D cliccando sul tab Modellatore

 8.1 Portarsi nella sezione *Calcoli* della tavolozza [Analisi], § 15.4.4.2 a pagina 162

 8.2 Selezionare, mantenendo premuto il tasto Ctrl, tutti e due i calcoli a disposizione, come mostrato in figura 26.23

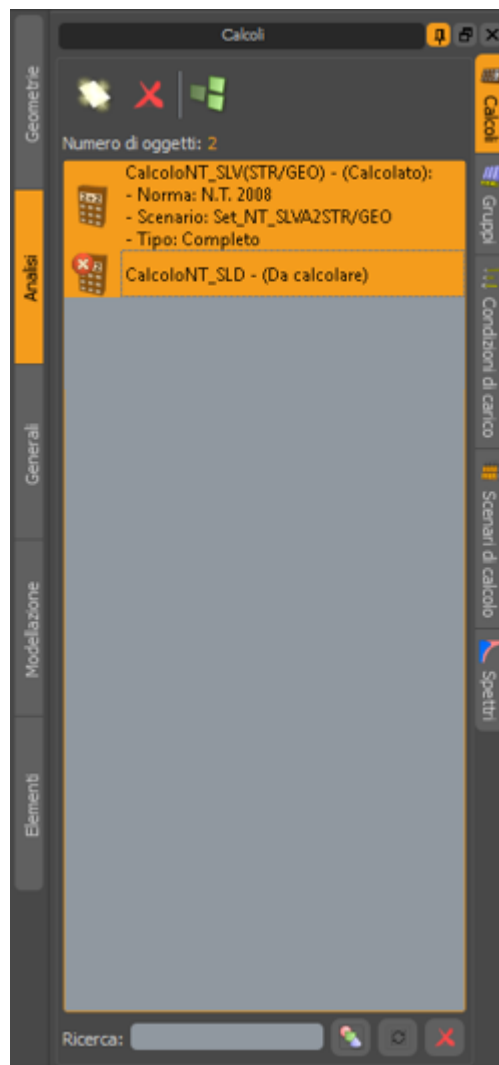



Figura 26.23 – Selezione multipla dei calcoli

 8.3 Analogamente con quanto fatto ai punti 5.2 e 5.3 a pagina 449, impostare il numero di posizioni delle masse a quattro, clic-

cando sul bottone 4 posizioni (vedi figura 26.24 nella pagina seguente)

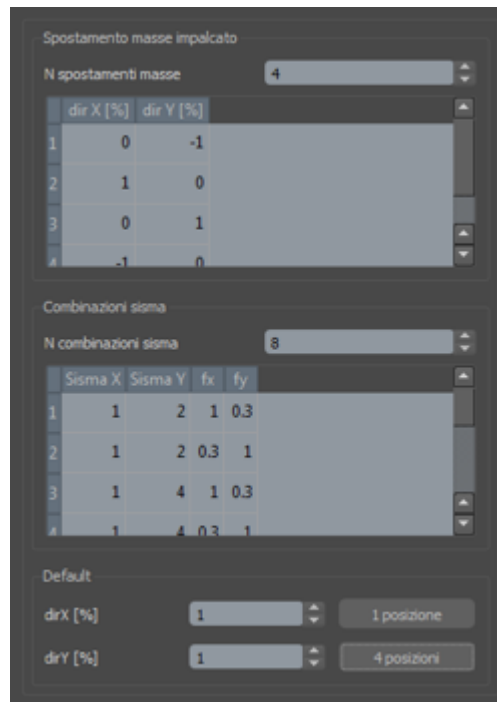



Figura 26.24 – Posizione delle masse

8.4 Salvare la struttura da File ▷ Salva (o con Ctrl + s)
Adesso sarà possibile eseguire contemporaneamente i due calcoli selezionati per le quattro posizioni delle masse e dunque verranno eseguiti un totale di dieci calcoli sulla struttura corrente.

8.5 Prima di lanciare i calcoli attivare l'amplificazione del gruppo *Fondazione*; dunque, dal [Gestore delle proprietà], § 15.4.6 a pagina 173, portarsi nella sezione ▼ Amplificazione sollecitazioni e attivare il check in corrispondenza del gruppo, come mostrato in figura 26.25.

8.6 Cliccare sull'icona , nella barra di controllo
Si aprirà il menu contestuale riportato in figura 26.8(a) a pagina 441.

8.7 Scegliere la voce Calcolo

Questa fase, se la struttura è tutt'altro che modesta, potrebbe durare un tempo considerevole.

Disegno definitivo

Figura 26.25 – Amplificazione delle sollecitazioni del gruppo Fondazione

9. Selezionare il calcolo *CalcoloNT_SLV(STR/GEO)* nella sezione *Calcoli* della tavolozza [Analisi], § 15.4.4.2 a pagina 162, come mostrato in figura 26.26

Figura 26.26 – Selezione del calcolo *CalcoloNT_SLV(STR/GEO)*

9.1 Eseguire il disegno degli elementi strutturali.

9.2 Controllare che non ci siano elementi non verificati per armatura disposta.

Se i risultati sono positivi occorre attivare il secondo calcolo (*CalcoloNT_SLD)*) e controllare se ci sono elementi non verificato agli SLE e verificare gli spostamenti degli impalcati.

Se tutto è andato a buon fine, la struttura, comprensiva della fondazione, è risolta.

Questa volta il disegno viene eseguito sulla base dei calcoli relativi alle quattro posizioni delle masse.

26.2 Calcolo della fondazione

Questa sezione può essere ignorata in quanto la procedura riportata risulta non più necessaria; come visto nel paragrafo precedente, infatti, dalla versione **3** *di* ***IperSpace MAX***® *è possibile calcolare la fondazione contestualmente alla struttura in elevazione agendo sull'amplificazione delle sollecitazioni in fondazione. Si lascia comunque all'utente la possibilità di esaminare il seguito in quanto è una procedura che è formalmente valida per l'esportazioni delle* sottostrutture isolate.

1. Selezionare il calcolo *CalcoloNT_SLV(STR/GEO)* nella sezione *Calcoli* della tavolozza [Analisi], § 15.4.4.2 a pagina 162, come mostrato in figura 26.26 nella pagina precedente
2. Cliccare sull'icona *Esporta*
3. Selezionare la voce Fondazione

   Verrà eseguita la procedura visualizzata in figura 26.27 a fronte

Si nota che la struttura è stata calcolata in CDB in quanto i coefficienti amplificativi sono 1.1 e non 1.3. Si nota, inoltre, che lo sforzo normale F_z non è amplificato.

4. Cliccare su Avanti > per proseguire

   IperSpace MAX® crea automaticamente una cartella per la fondazione che ha la denominazione standard *Nomestruttura.fon* dove "Nomestruttura" coincide con il nome dato, in fase di salvataggio, al file con estensione .spc della struttura corrente.

Figura 26.27 – Procedura di esportazione della fondazione

Figura 26.28 – Assegnazione del nome del file della fondazione

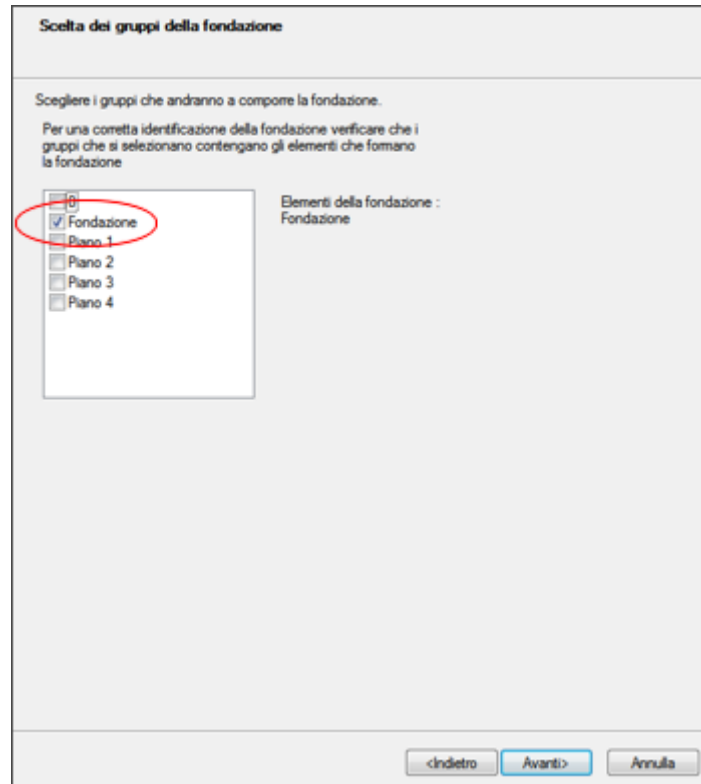



Figura 26.29 – Scelta dei gruppi da esportare

5. Cliccare su Avanti >
6. Selezionare il gruppo *Fondazione*, come evidenziato in figura 26.29 a pagina 458
7. Cliccare su Avanti > lasciando le impostazioni predefinite
8. Lasciare le impostazioni predefinite e cliccare su Avanti >
9. Selezionare, come mostrato in figura 26.32 nella pagina seguente, il calcolo *CalcoloNT_SLD)*
10. Cliccare sul tasto Genera

    La procedura di esportazione della fondazione verrà completata come mostrato dalla figura 26.33 nella pagina successiva.
11. Cliccare sul tasto Fine per uscire dal processo di esportazione

    In pratica, alla fondazione esportata vengono applicate le sollecitazioni ottenute con il *CalcoloNT_SLV(STR/GEO)* amplificate per i coefficienti 1.1 o 1.3, a seconda se ci si trova in CDB o CDA (eccetto lo sforzo normale che non viene amplificato), controllando che le sollecitazioni amplificate siano non maggiori dei momenti e dei tagli ultimi al piede dei pilastri, che sono funzione dell'armatura.

Figura 26.30 – Scelta delle combinazioni

Figura 26.31 – Scelta delle reazioni

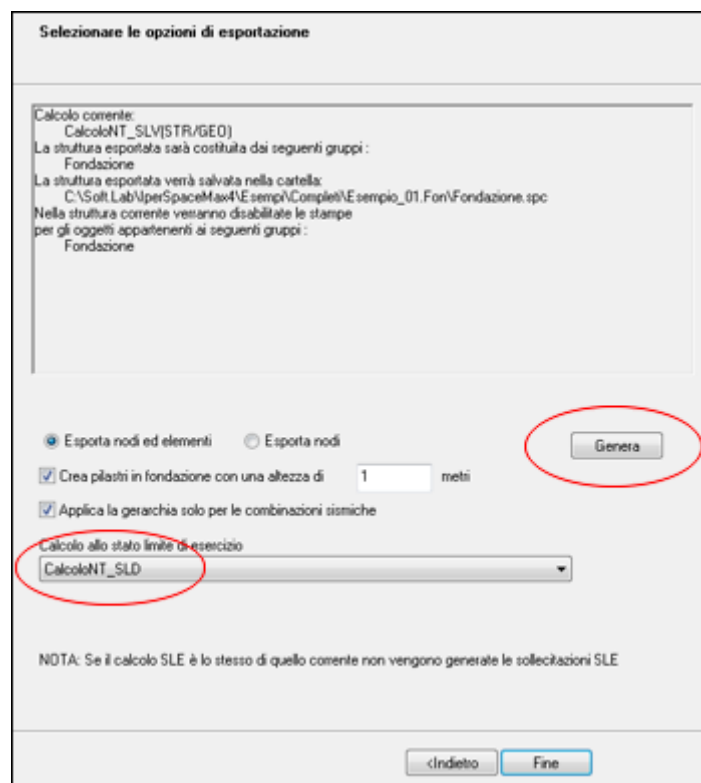



Figura 26.32 – Opzioni per l'esportazione

Figura 26.33 – Procedura di esportazione completata

Dunque l'esportazione della fondazione può essere eseguita solo se sono state disposte le armature.

12. Dalla voce di menu File ▷ Apri caricare il file **spc** `Fondazione.spc` dal percorso `C:\Soft.Lab\IperSpaceMax4\Esempi\Completi\Esempio_01.fon`

    Nella figura 26.34 a pagina 461 si vede la struttura della sola fondazione esportata.

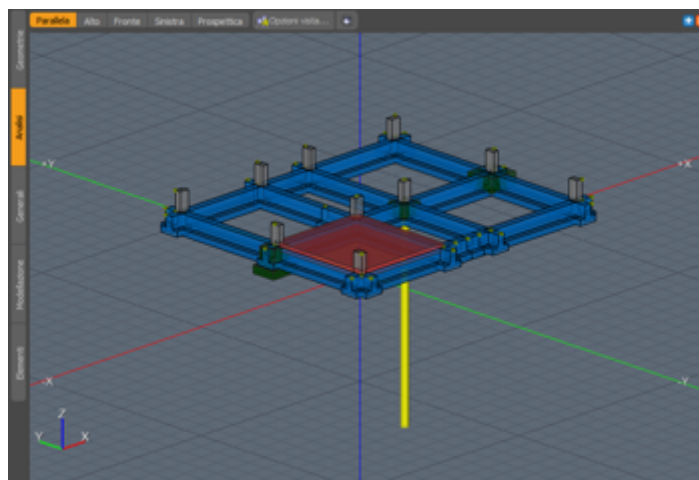



Figura 26.34 – La fondazione esportata

La fondazione esportata è predisposta automaticamente per due calcoli.

13. Portarsi nella sezione *Calcoli* della tavolozza [Analisi], § 15.4.4.2 a pagina 162

    Come mostrato in figura 26.35 nella pagina seguente la struttura fondazione prevede due calcoli:

    CalcoloNT_SLV(STR/GEO) serve per verificare la struttura agli SLU e per eseguire i disegni delle armature.

    CalcoloNT_SLD per eseguire le verifiche SLE.

Gli scenari di entrambi i calcoli tengono conto del sisma attraverso le sollecitazioni provenienti dalla struttura in elevazione. Entrambi hanno un elevato numero di combinazioni dove risultano attive sempre solo due condizioni:

- quella relativa al peso proprio
- una della combinazioni dovute alle sollecitazioni provenienti dalla struttura superiore

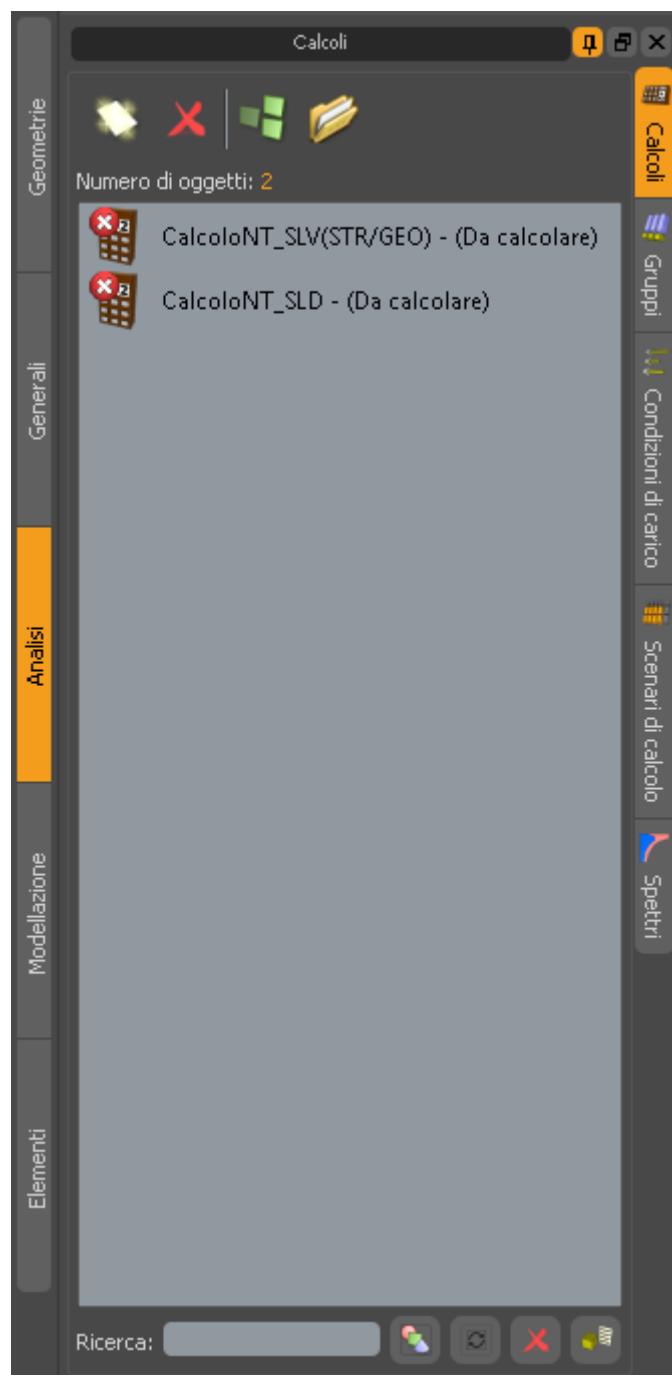



Figura 26.35 – Calcoli predefiniti per la fondazione

La struttura risulta già correttamente numerata; bisogna, quindi, soltanto eseguire i due calcoli ed effettuare, successivamente, la verifica e i disegni delle armature con il *CalcoloNT_SLV(STR/GEO)*, e le verifiche SLE con il calcolo *CalcoloNT_SLD*.

26.3 Nota sulle verifiche dell'acciaio

Si premette che per eseguire le verifiche delle sezioni in acciaio non bastano i dati inerziali, tipo:

- area
- inerzie
- moduli di resistenza
- raggi d'inerzia

ma è necessaria la effettiva geometria della sezione.

Quindi le sezioni presenti in una struttura inserita con una versione precedente del programma non possono essere verificate in quanto manca la effettiva geometria.

Occorre quindi reimportare le sezioni dal gestore delle sezioni (File ▷ [Visualizza], § 18.3.1 a pagina 259), che è stato aggiornato a questo scopo; le nuove sezioni, al contrario, possono essere verificate senza problemi.

*La verifica è comunque, per il momento, limitata alle sezioni singole **IPE**, **HE**, **UPN**, **L**, **Tubolari rettangolari** e **circolari** e alle sezioni accoppiate **2L** e **2UPN**.*

IperSpace MAX® classifica le sezioni secondo l'*Eurocodice 3* in funzione della tipologia, dei rapporti lunghezza/spessore, *d/t* o *c/t* e dello stato tensionale dell'asta. **IperSpace MAX®** esegue la verifica di resistenza prendendo in considerazione tutte le possibili sollecitazioni e la verifica di stabilità per elementi compressi, o pressoinflessi, e flessotorsionali.

26.4 Relazioni

Prima di passare alle relazioni eseguire i seguenti passi:

Cattura delle viste per relazioni

1. Dalla voce di menu File ▷ Apri caricare il file **spc** `Esempio_01.spc` dal percorso `C:\Soft.Lab\IperSpaceMax4\Esempi\Completi`

2. Portarsi nella vista Parallela, come mostrato in figura 26.36 nella pagina seguente

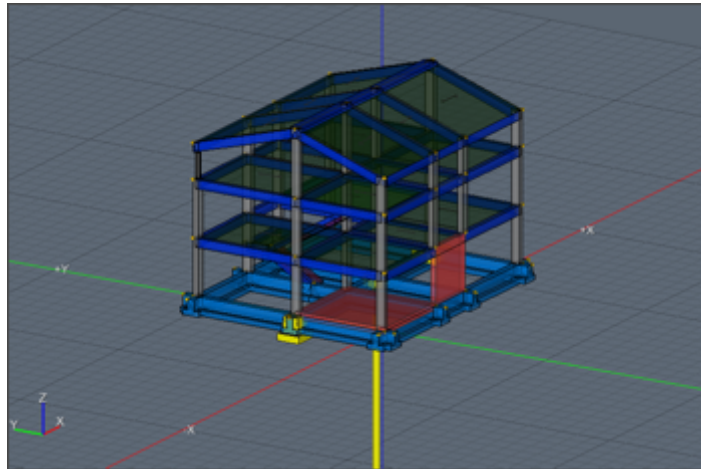



Figura 26.36 – Prima vista ortografica della struttura

3. Eseguire la voce di menu Strumenti ▷ [Cattura per relazione], § 20.3.2 a pagina 303

Figura 26.37 – Parametri di cattura per relazione

4. Cliccare sul check *Vista 1*

5. Eventualmente modificare il colore di sfondo, per l'immagine da catturare, attivando il check *Sfondo personalizzato*

6. Confermare su

   IperSpace MAX® creerà una prima vista della struttura ed assegnerà un nome automatico al file grafico di cattura.

Qualora si volesse catturare un particolare della vista, prima di confermare il comando con , portarsi nella finestra grafica e tenendo premuto il tasto sinistro del mouse includere la zona di interesse nell'area di selezione.

7. Ruotare la vista, di circa 180 gradi, in modo da mostrare il lato posteriore della struttura, come mostrato in figura 26.38 a fronte

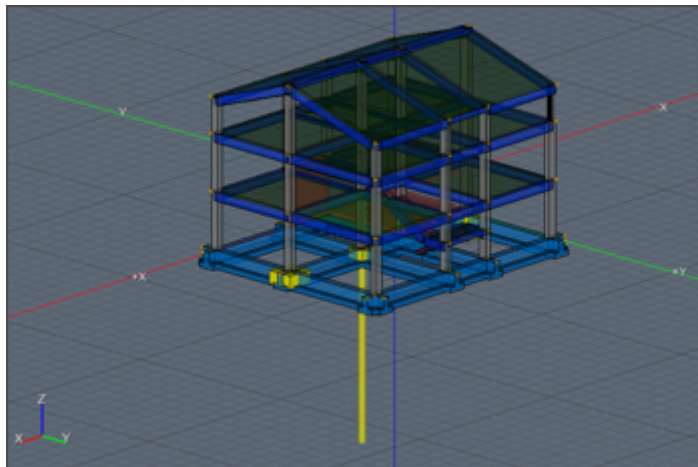



Figura 26.38 – Seconda vista ortografica della struttura

8. Ripetere il punto 3

9. Cliccare sul check *Vista 2* e confermare su

In questo modo si esportano le viste della struttura che **IperSpace MAX**® allegherà automaticamente durante la redazione della relazione di calcolo.

Taglianti

1. Selezionare il calcolo *CalcoloNT_SLV(STR/GEO)* nella sezione *Calcoli* della tavolozza [Analisi], § 15.4.4.2 a pagina 162

2. Cliccare sull'icona *Taglianti*

3. Cliccare sul pulsante Combinazioni, nella barra di controllo

   Comparirà il dialogo di figura 26.39.

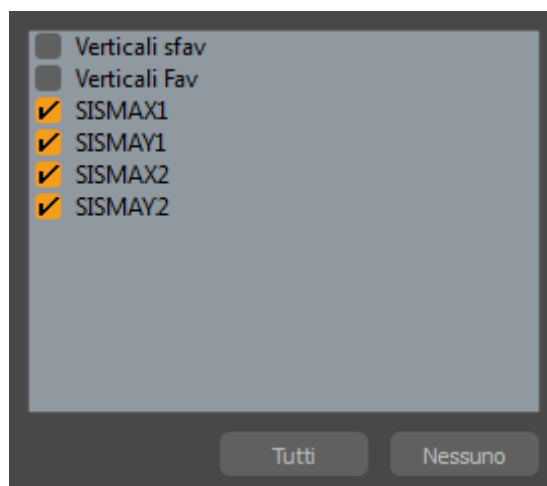



Figura 26.39 – Scelta delle combinazioni per il calcolo dei taglianti

4. Selezionare solo le combinazioni sismiche, come mostrato in figura 26.39 nella pagina precedente e cliccare sul tasto Chiudi

   Si aprirà il gestore delle stampe con i risultati dei taglianti, come riportato nella figura 26.40.

IperSpaceMax 2.0.0 Copyright® 2010 Soft.Lab:

Taglianti di piano

I taglianti sono dati per combinazioni di calcolo C-S-Pm con C=Combinazione(1,2,...) S=Sisma(I,II) Pm=posizione masse(1,2,...)
Azioni complessive, riferite al sistema WCS,con origine in (0,0,0),i momenti sono comprensivi dei momenti di trasporto
Θ=Fz*dr/(Fh*H) con: Fz=forza verticale,dr=spost medio del piano rispetto al piano inferiore,Fh=tagliante,H=altezza del piano

Combinazione 3-1-1 (SISMAX1)

Piano	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz	X	Y	Z	Θ
	kg	kg	kg	kg*m	kg*m	kg*m	mm	mm	mm	
0	-10168	1163	260782	484201	-347507	354982	6500	6096	-0	--
1	66733	-426	-333381	199091	213298	-12041	6750	6096	3200	0.004495
2	47993	8401	-217240	933	97113	-1840	6625	5462	6400	0.001668
3	23086	951	-48371	-10561	379	-4788	6625	5594	8400	0.001888

Piano	FxPilIsol	FyPilIsol	FxPar	FyPar	FxShell	FyShell	FxTot	FyTot
	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg
0	-35162	1154	0	0	25365	237	-10168	1163
1	34307	4005	0	0	31843	418	66733	-426
2	47993	8401	0	0	0	0	47993	8401
3	23086	951	0	0	0	0	23086	951

Percentuali assorbite in direzione X

Piano	%PilIsol FX	%Par FX	%Shell FX
0	58.09	0.00	41.91
1	51.86	0.00	48.14
2	100.00	0.00	0.00
3	100.00	0.00	0.00

Percentuali assorbite in direzione Y

Piano	%PilIsol FY	%Par FY	%Shell FY
0	82.97	0.00	17.03
1	90.54	0.00	9.46
2	100.00	0.00	0.00
3	100.00	0.00	0.00

Figura 26.40 – I risultati del calcolo dei taglianti

Validazione del calcolo

1. Cliccare sull'icona *Verifiche*

2. Scegliere la voce Esegui del menu a tendina del comando

   Sulla barra di controllo compariranno i parametri per le verifiche, come riportato dalla figura 26.41.

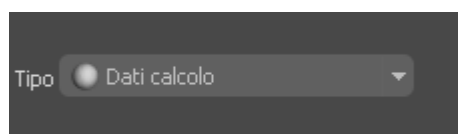



Figura 26.41 – Controlli per i comandi di verifica

3. Selezionare per la proprietà *Tipo* il valore Dati Calcolo e confermare su

   Apparirà il gestore delle stampe con i risultati per la validazione del calcolo. In figura 26.42 a fronte è riportato uno stralcio delle sole reazioni nodali.

IperSpaceMax 2.0.0 Copyright® 2010 Soft.Lab:

Reazioni nodali

Le reazioni nei nodi sono riferite al sistema globale XYZ, la risultante (Forza+Momento) è riferita all'origine del sistema

Riepilogo risultanti reazioni

Comb	Fx[kg]	Fy[kg]	Fz[kg]	Mx[kg*m]	My[kg*m]	Mz[kg*m]
1	324	-162	0	0	0	-3305
2	146	-23	0	0	0	-1431
3-I-1	-59656	-2919	0	0	0	403919
3-II-1	60069	2730	0	0	0	-410178
3-I-2	-57118	-6575	0	0	0	400078
3-II-2	57591	6387	0	0	0	-406336
3-I-3	-58917	-717	0	0	0	480324
3-II-3	59331	328	0	0	0	-486583
3-I-4	-57143	6910	0	0	0	494921
3-II-4	57556	-7098	0	0	0	-501179
4-I-1	274	-65599	0	0	0	-439375
4-II-1	139	65410	0	0	0	433117
4-I-2	6473	-63086	0	0	0	-391762
4-II-2	-6060	62897	0	0	0	385503
4-I-3	700	-65612	0	0	0	-445087
4-II-3	-287	65423	0	0	0	438828
4-I-4	1154	-62655	0	0	0	-311794
4-II-4	-741	62466	0	0	0	305535
5-I-1	-59665	-2907	0	0	0	404333
5-II-1	60080	2742	0	0	0	-409564
5-I-2	-57127	-6563	0	0	0	400692
5-II-2	57522	6399	0	0	0	-405722
5-I-3	-58926	-705	0	0	0	480938
5-II-3	59322	340	0	0	0	-485999
5-I-4	-57152	6922	0	0	0	495535
5-II-4	57547	-7087	0	0	0	-500565
6-I-1	265	-65587	0	0	0	-438761
6-II-1	130	65422	0	0	0	433730
6-I-2	6464	-63074	0	0	0	-391148
6-II-2	-6088	62909	0	0	0	386117
6-I-3	691	-65600	0	0	0	-444473
6-II-3	-296	65435	0	0	0	439442
6-I-4	1145	-62643	0	0	0	-311180
6-II-4	-750	62478	0	0	0	306149

Figura 26.42 – Parte dei risultati della validazione del calcolo

Le stampe per la validazione verranno archiviate nel database di stampa e saranno disponibili per la relazione finale.

Stampa dei dati d'input

1. Selezionare il calcolo *CalcoloNT_SLV(STR/GEO)* nella sezione *Calcoli*, come mostrato in figura 26.43 nella pagina successiva

2. Cliccare sull'icona *Stampa*

   Sulla barra di controllo compariranno i parametri per la stampa, come in figura 26.44.

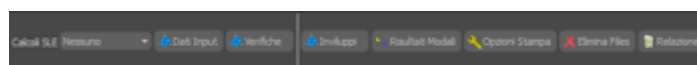



Figura 26.44 – Comandi e opzioni di stampa

3. Cliccare sul bottone Dati Input

   Si aprirà il dialogo di figura 26.45 nella pagina successiva che permetterà di selezionare i dati d'input da stampare.

Figura 26.43 – Selezione del calcolo per la stampa dei dati

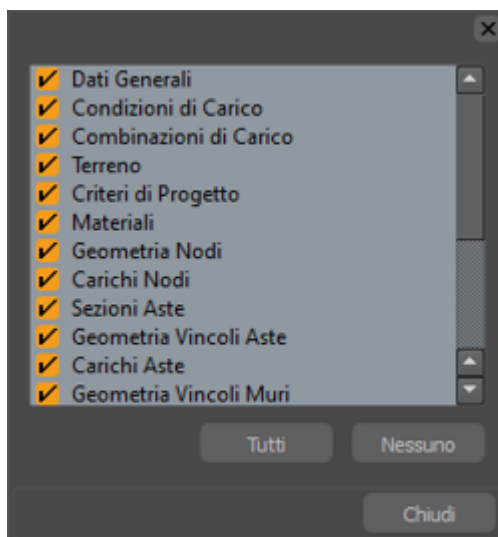



Figura 26.45 – Scelta dei dati d'input per la stampa

Stampa verifiche e risultati

4. In modo analogo, effettuare le scelte rispettivamente per i comandi Verifiche, Inviluppi e Risultati Modali, come mostrato nelle figure 26.46 a fronte.

   Dalla figura 26.46(a) nella pagina successiva, si può notare che non sono state attivate le verifiche SLE, così come le verifiche degli spo-

(a) Verifiche

(b) Inviluppi

(c) Risultati Modali

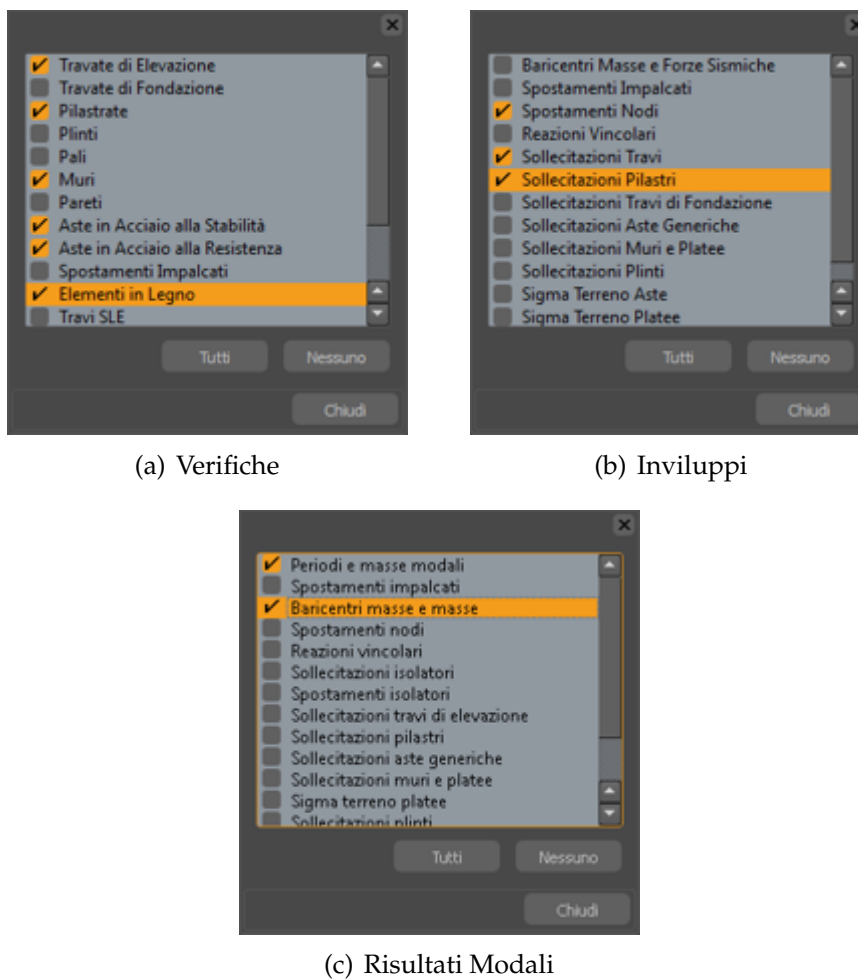



Figura 26.46 – Scelte aggiuntive per le stampe

stamenti degli impalcati. Questo perché devono necessariamente essere eseguite con il calcolo SLD.

Le sollecitazioni, relative agli elementi della struttura in elevazione, potrebbero anche non essere stampate in quanto potrebbero essere sufficienti quelle che vengono stampate in fase di verifica. Se si decide di farle stampare come nel caso in oggetto, vedi figura 26.46(b), nella preparazione della relazione, verranno proposte con il solo valore massimo.

A discrezione dell'utente, comunque, è possibile stampare tutti i valori.

Nella scelta dei *Risultati Modali* basta scegliere solo le due voci relative a *Periodi e masse modali* e *Baricentri masse e masse* (vedi figura 26.46(c)).

Sarebbe sconveniente attivare tutte le altre stampe in quanto potrebbero produrre migliaia di pagine che sarebbero inutili ai fini del controllo da parte di chi dovrà valutare l'elaborato. Esse, invece, potrebbero risultare utili per l'utente che fosse interessato a eseguire particolari ricerche.

5. Cliccare sull'icona *Opzioni Stampa* per le impostazioni di stampa, come tipo e altezza di carattere, margini, stampa della simbologia, ecc.

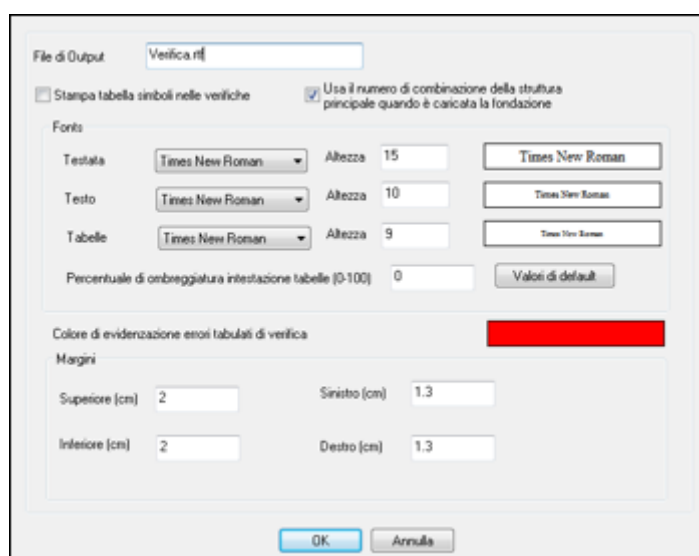



Figura 26.47 – Opzioni generali di stampa

In figura 26.47 è riportato il dialogo delle opzioni di stampa.

6. Confermando le scelte con il tasto si aprirà il gestore delle stampe *IperDoc*

Stampa verifiche SLE

7. Chiudere *IperDoc*

8. Cliccare sull'icona *Stampa*

   Questa volta scegliere, sulla barra di controllo, per l'opzione *Tipo* il calcolo CalcoloNT_SLD, come in figura 26.48.

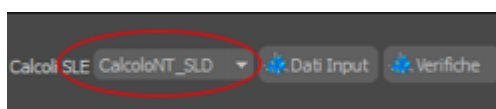



Figura 26.48 – Selezione del calcolo SLD

Una volta scelto il calcolo SLE o SLD scegliere le opzioni per i dati d'input solo l'opzione *Combinazioni di carico* (vedi fig. 26.49) e per le verifiche SLE quelle riportate in figura 26.50.

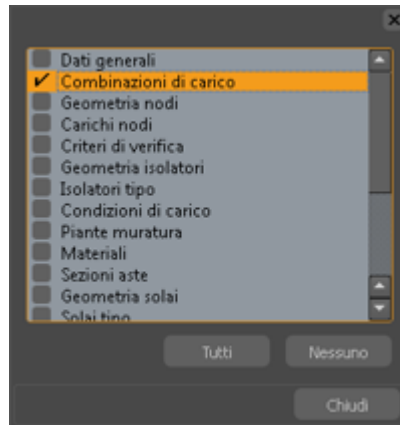



Figura 26.49 – Scelta delle opzioni dei dati d'input per SLE

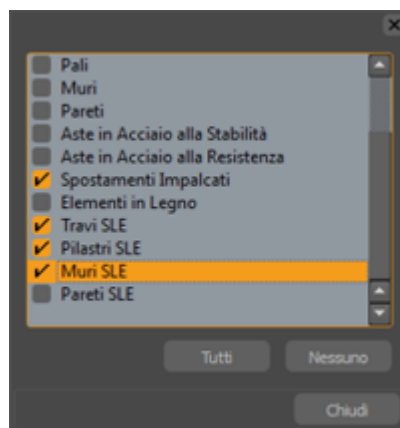



Figura 26.50 – Scelta delle opzioni di verifica per SLE

In questo caso si sceglierà la verifica degli spostamenti degli impalcati e la verifica degli elementi strutturali compresa la fondazione.

9. Confermare cliccando su

   Verrà creato, in questo modo, la seconda parte del database di stampa e si aprirà *IperDoc* dove sarà possibile stampare le varie relazioni.

Stampa delle relazioni

IperSpace MAX® suddivide la relazione di calcolo in:

- *Relazione Generale*, che sintetizza tutto il calcolo e ha come appendice la Validazione del calcolo
- *Manuale di Manutenzione* della struttura

- *Fascicolo dei Calcoli* che contiene i dettagli
- *Relazione sui Materiali*

Quasi tutti i dati per generare le relazioni vengono letti direttamente dai dati di input e output, quindi, ove possibile si fa riferimento ai paragrafi dove intervenire.

26.4.1 Relazione generale

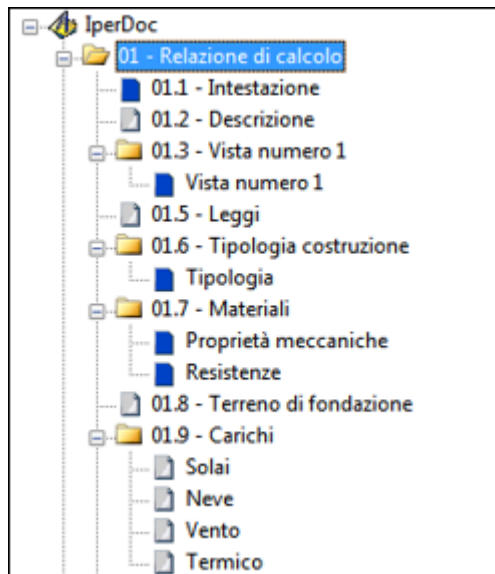



Figura 26.51 – Relazione generale

26.4.1.1 Intestazione

Se le intestazioni del progetto sono state fornite nei dati della struttura, esse saranno presenti in tutte le relazioni.

26.4.1.2 Descrizione

Fornire una descrizione sommaria della struttura con le dimensioni principali, l'ubicazione anche catastale, ecc.

26.4.1.3 Leggi

Fornire gli estremi della eventuale Legge Regionale con il titolo della stessa.

26.4.1.4 Terreno di fondazione

L'eventuale stratigrafia viene letta direttamente, ma bisogna fornire qualche dato di complemento, come il nome del geologo, la profondità della fondazione e le dimensioni in pianta.

26.4.1.5 Carichi

È possibile eseguire l'analisi dei carichi dei solai. Selezionare i solai per i quali si vuole stampare l'analisi dei carichi e terminare la procedura automatica.

È possibile anche determinare le azioni del vento e della neve: nel caso in cui non siano stati presi in considerazione, nel calcolo, basta non attivarli.

26.4.2 Manuale di manutenzione

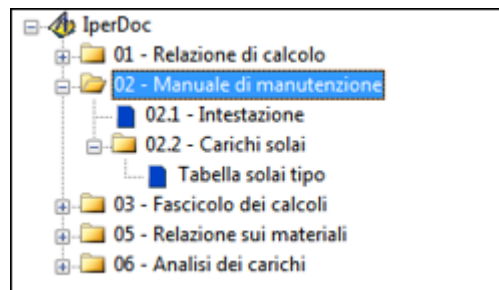



Figura 26.52 – Manuale di manutenzione

Basta solo selezionare il nodo corrispondente, per la stampa, in quanto reperisce i dati delle intestazioni dal programma, se sono stati inseriti nei dati della struttura.

26.4.3 Fascicolo dei calcoli

Per preparare la parte più voluminosa della relazione e cioè il fascicolo dei calcoli occorre completare prima qualche paragrafo.

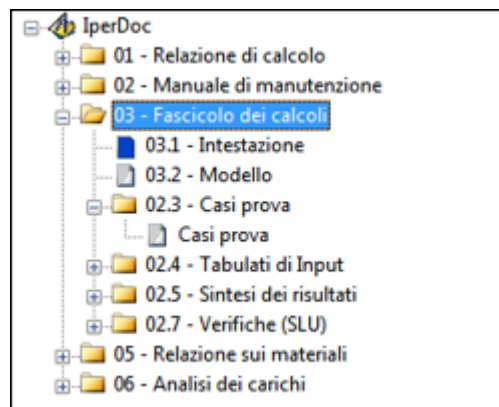



Figura 26.53 – Fascicolo dei calcoli

26.4.3.1 Modello

Con un doppio clic sul nodo corrisondente, si apre un dialogo dal quale è possibile esaminare i dati che costituiscono il modello, dati letti direttamente da **IperSpace MAX**®. È possibile eseguire eventuali modifiche.

26.4.3.2 Casi di prova

È possibile selezionare dei casi di prova.

26.4.3.3 Info elaboratore

È possibile modificare e/o fornire i dati dell'elaboratore utilizzato per il calcolo.

26.4.4 Relazione sui materiali

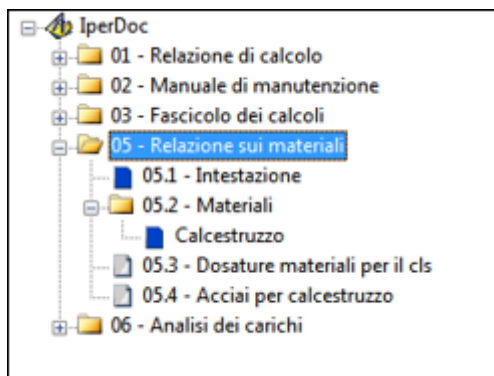



Figura 26.54 – Relazione sui materiali

26.4.4.1 Dosature materiali per il cls

Con un doppio clic, sul nodo corrispondente, si apre un dialogo dove si possono confermare o modificare i dosaggi.

26.4.4.2 Acciai per calcestruzzo

Con un doppio clic si apre un dialogo dove si possono confermare o modificare i dati.

26.4.5 Generazione

Una volta completate le scelte dei paragrafi precedenti è possibile generare le varie relazioni. Basta portarsi sul nodo padre delle singole relazioni:

- 01 per Relazione generale
- 02 per Manuale di manutenzione della struttura
- 03 per Fascicolo dei calcoli
- 05 per Relazione sui materiali

e per ognuna di essi, con il tasto destro del mouse, cliccare sulla voce *Genera*, come indicato nella figura 26.55.

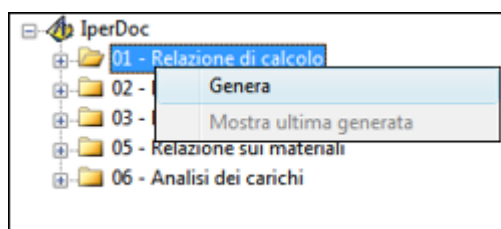



Figura 26.55 – Generazione delle singole relazioni

Si ottengono in questo modo le relazioni relative alla struttura in elevazione. Nella relazione generale completare il capitolo *Validazione Calcolo*. In esso sono già pronte varie sintesi come:

- Periodi propri
- Taglianti di piano
- Reazioni nodali
- Reazioni terreno

Una prima verifica viene eseguita direttamente dal programma confrontando il periodo fondamentale ottenuto con l'analisi modale e quello approssimato secondo una formula prevista dalla normativa; essi devono essere delle stesso ordine di grandezza.

Il tagliante al piano terra può essere confrontato con le reazioni nodali se non ci sono altre azioni orizzontali (quali spinta del terreno o di altro tipo) o meglio ancora con un calcolo approssimato manuale considerando il peso sismico della struttura e l'accelerazione sismica.

Le reazioni del terreno devono equilibrare il peso della struttura: basta quindi calcolare in modo approssimato il peso, compreso i carichi della struttura, per una certa combinazione e confrontarlo con la somma delle reazioni del terreno, fornita direttamente dal programma.

26.5 Relazione geotecnica

1. Selezionare il *CalcoloNT_SLV(STR/GEO)*, come evidenziato dalla figura 26.56

Figura 26.56 – Selezione del *CalcoloNT_SLV(STR/GEO)*

2. Cliccare sul bottone *Geotecnica*

3. Scegliere la voce Definisci modello fondazione diretta del menu corrispondente

   Si aprirà il dialogo di figura 26.57 a fronte.

Figura 26.57 – Proprietà generali della fondazione

In questo dialogo è possibile considerare:

- la presenza della falda con relativa quota e peso specifico dell'acqua
- il numero di strati
- la tipologia del terreno

Falda con quota considerata positiva verso il basso; dunque se la falda si trova 3 m sotto il piano campagna il valore da fornire è +3 m.

Strati si considerano a partire dal terreno sotto la fondazione.

Profondità della fondazione rappresenta l'altezza del terreno asportato a partire da sotto la fondazione, dunque è maggiore o uguale all'altezza della fondazione, "D", che si incontrerà successivamente.

Terreno può essere *Incoerente* (sabbia e ghiaia), *Coesivo* (argille) e *Misto* (sabbie e ghiaie argillose).

In base al tipo di terreno cambia il metodo di calcolo dei cedimenti. Per i terreni coesivi il metodo è quello di *Skempton e Bjerrum*; per i terreni incoerenti possiamo sceglierlo tra sei tipi. Il carico limite, invece, viene determinato con la formula di *Terzaghi-Meyerof*.

4. Cliccare su Avanti >

Figura 26.58 – Stratigrafia della fondazione

Apparirà il dialogo di figura 26.58, in cui fornire i dati della stratigrafia. Se si hanno a disposizione le prove edometriche possono essere prese in considerazione esse stesse al posto dei moduli edometrici.

5. Cliccare su Avanti >

Figura 26.59 – Tipologia della fondazione

Si sceglie fondazione rettangolare se si tratta di una platea, plinti diretti o un solo elemento di trave. Nel caso in esame invece, si ha a che fare con travate, costituite quindi da più campate, e quindi da più elementi rettangolari.

6. Scegliere, dunque, *Fondazione composta da elementi rettangolari*

Nel caso di fondazioni su ammassi rocciosi occorre apporre il relativo check e assegnare il valore di ***RQD*** *fornito dal geologo.*

7. Cliccare su Avanti >

Figura 26.60 – Tensioni del terreno

8. Attivare il check su *Calcola tensioni terreno* per il calcolo dei cedimenti
9. Cliccare su Avanti >

Figura 26.61 – Dati geotecnici del terreno

Fornire le caratteristiche geotecniche (angolo di attrito, coesione, pesi terreno, ecc.) come media pesata dei valori afferenti ai vari strati che interessano la fondazione.

Il modulo *G* può essere calcolato cliccando sul tasto Calcola G . In questo caso apparirà il dialogo di figura 26.62.

Figura 26.62 – Calcolo del modulo *G*

10. Fornire il modulo *Edometrico* della media pesata dei moduli dei vari strati che si trovano sotto la fondazione e che interessano la stessa.

    Nel caso in esame, sotto la fondazione c'è un unico strato avente E_d = 50 kg/cmq e pertanto va fornito proprio questo valore.

    Gli angoli *Omega* (ω) ed *Epsilon* (ϵ), del dialogo di figura 26.61 nella pagina precedente, possono essere visualizzati cliccando sul tasto Mostra schema , come mostrato dalla figura 26.63.

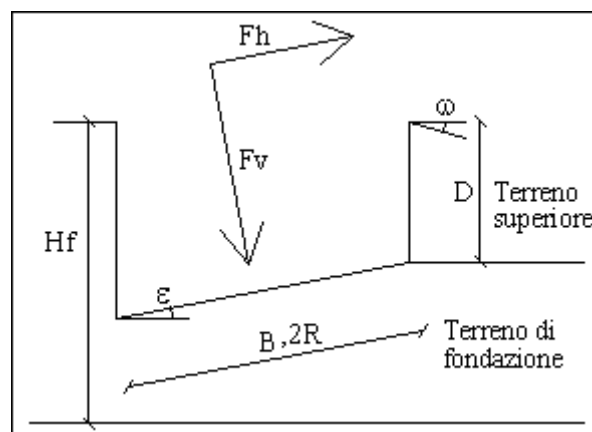



Figura 26.63 – Schema esplicativo delle grandezze

Normalmente la fondazione è orizzontale e anche il terreno ai lati, dunque i due angoli hanno valore 0.

La profondità del piano di posa, *D*, non può essere maggiore della profondità della fondazione inserita nel dialogo di figura 26.57. Infine i coefficienti di sicurezza a carico verticale e a traslazione orizzontale sono fissati rispettivamente a 2.3 e 1.1 (secondo l'*Approccio 2 delle Norme Tecniche*).

11. Cliccare su Avanti >

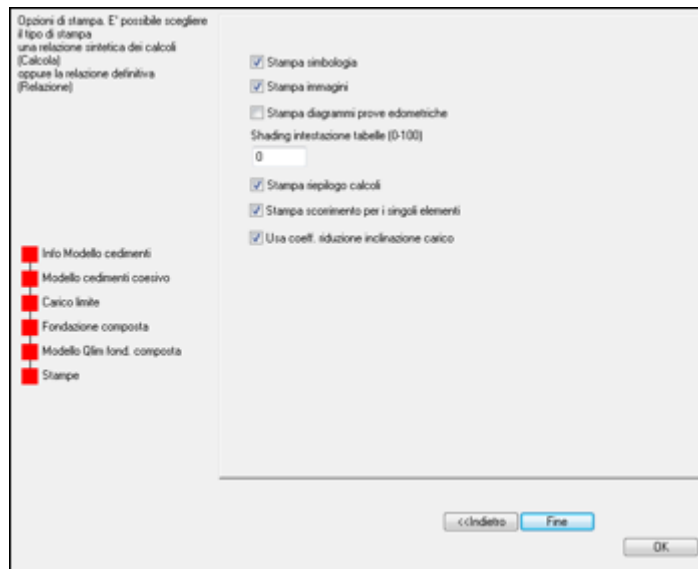



Figura 26.64 – Completamento della procedura

Apporre i vari check, tranne che su *Stampa diagrammi prove edometriche*, dato che, in questo caso, non sono disponibili. Qualora fossero state fornite, selezionare anche la relativa opzione.

12. Cliccare su Fine per definire il modello
13. Salvare la struttura in modo da memorizzare anche il modello

    Per eseguire la relazione geotecnica bisognerà selezionare tutte le travi di fondazione.

14. Per comodità, impostare un filtro di selezione cliccando sul bottone , relativo alla selezione, nella [Barra dei filtri], § 15.4.8 a pagina 177

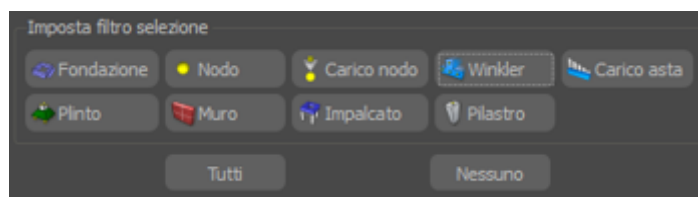



Figura 26.65 – Filtro di selezione

Si aprirà il dialogo di figura 26.65 nella pagina precedente con tutti gli elementi presenti nella struttura corrente.

15. Attivare il tipo Winkler, come mostrato in figura 26.66

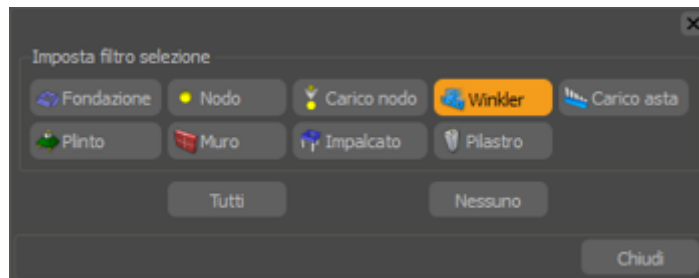



Figura 26.66 – Filtro di selezione attivo per *Winkler*

16. Cliccare sul bottone Chiudi
17. Eseguire il comando Modifica ▷ [Tutti], § 17.4.1 a pagina 238 oppure lo shortcut Ctrl + a

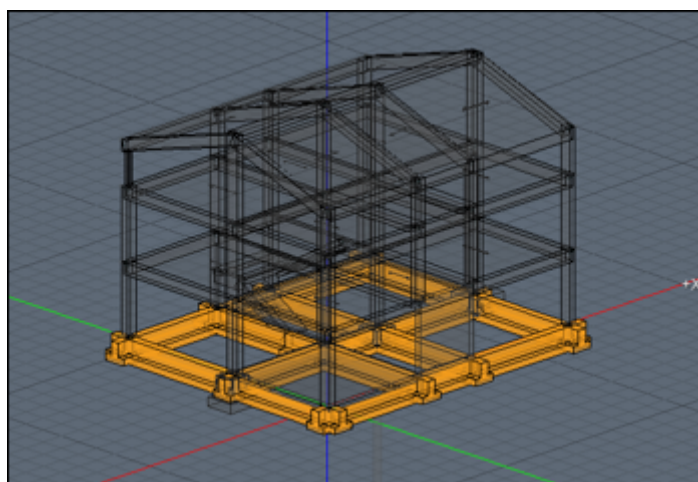



Figura 26.67 – Le travi di fondazione selezionate

18. Cliccare sul bottone *Geotecnica*
19. Scegliere la voce Relazione Travate del menu corrispondente

    Si aprirà il dialogo di figura 26.68 nella pagina successiva.

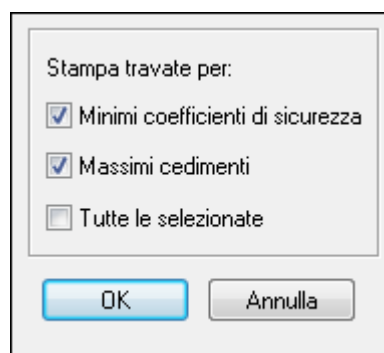



Figura 26.68 – Impostazioni per la stampa delle travate

Dove è possibile creare la relazione stampando i minimi coefficienti di sicurezza e i massimi cedimenti. In questo modo la relazione si limita ad una decina di pagine. Se invece si attiva l'opzione *Tutte le selezionate*, la relazione può assumere una lunghezza di qualche centinaio di pagine. Tale opzione è consigliabile, dunque, nel caso in cui siano selezione una o due travate soltanto.

20. Cliccare su OK per creare la relazione geotecnica che verrà visualizzata direttamente a video dopo aver fornito un nome identificativo per il file in formato **rtf**.

27 Verifica di edifici esistenti in cls

Indice

27.1 Introduzione

Secondo quanto indicato dal DM 14/01/2008 e dalla Circolare n°617 del 2009, è necessario identificare l'organismo strutturale raccogliendo informazioni circa le dimensioni degli elementi strutturali, i quantitativi delle armature e le resistenze meccaniche dei materiali.

Per conseguire un'adeguata conoscenza delle caratteristiche meccaniche dei materiali è opportuno basarsi su verifiche visive in situ e su indagini sperimentali e/o di laboratorio; pertanto i valori delle resistenze meccaniche saranno valutate sulla base delle prove sui campioni prelevati dalla struttura.

Sulla base di tali indagini conoscitive vengono individuati i "livelli di conoscenza LC" dei differenti parametri coinvolti nel modello (geometria, dettagli costruttivi e materiali) e definiti i correlati "fattori di confidenza FC", da utilizzare come ulteriori coefficienti parziali di sicurezza che tengono conto delle carenze nella conoscenza dei parametri della struttura.

Per esempio, stabilito il livello di conoscenza LC_2, in base alle prove e alle indagini effettuate, la normativa prevede di considerare un fattore di confidenza FC=1,20. Dall'esecuzione delle prove in situ si definiscono le resistenze medie dei materiali, che andranno inserite nel criterio di

verifica *CLS_Esistenti* rispettivamente in corrispondenza della voce Rcm e fym e il fattore di confidenza FC. I valori di Rck e fyk presenti nel criterio di verifica *CLS_Esistenti* non vengono presi in considerazione se è presente il check su *Elemento Esistente*. I valori dei coefficienti parziali di sicurezza dei materiali (cls, acciaio) resteranno sempre rispettivamente pari a $\gamma_c = 1.5$ e $\gamma_s = 1.15$.

Il calcolo può essere eseguito con qualunque valore di "q"; potrebbe essere anche quello di una struttura nuova che prevede la sopraelevazione dell'edificio esistente. Nei criteri di verifica *CLS_Esistenti* occorre fissare il "q" per gli elementi fragili e il "q" per gli elementi duttili (q=1,5 per elementi fragili, q=2–2,5 per elementi duttili). Va azzerata l'armatura minima delle travi e va posto allo 0.3% l'armatura dei pilastri. Inoltre non va applicata la gerarchia delle resistenze, pertanto è necessario eliminare i check *Gerarchia delle Resistenze* nelle varie direzioni, ed eliminare i check sui minimi di normativa delle staffe.

Nei criteri di verifica relativi al prototipo `Proto_CA_Esistenti.spc` *sono già state implementate le suddette operazioni.*

27.2 Operazioni preliminari

Per ottenere tutte le impostazioni necessarie per la verifica delle strutture esistenti (e strutture nuove) è opportuno caricare un prototipo apposito. Dunque:

Caricare il prototipo

1. Scegliere la voce di menu File ▷ [Carica prototipo], § 16.1.5 a pagina 186
2. Caricare il file di prototipo `Proto_CA_Esistenti.spc` dal percorso `C:\Soft.Lab\IperSpaceMax4\iperspacert\Proto`

   A questo punto sarà possibile passare alla modellazione in analogia con quanto fatto al capitolo [Modellazione], § 24 a pagina 379.

   Si opererà invece, per semplicità, su una struttura già modellata reperibile tra gli esempi a corredo di **IperSpace MAX**®. La struttura, riportata in figura 27.1 a fronte, è costituita da due piani fuori terra, di cui il primo è esistente mentre il secondo sarà di nuova costruzione (sopraelevazione).

Aprire la struttura

3. Scegliere la voce di menu File ▷ [Apri], § 16.1.2 a pagina 185
4. Caricare il file `Esempio_Struttura_Esistente.spc` dal percorso `C:\Soft.Lab\IperSpaceMax4\Esempi\Completi`

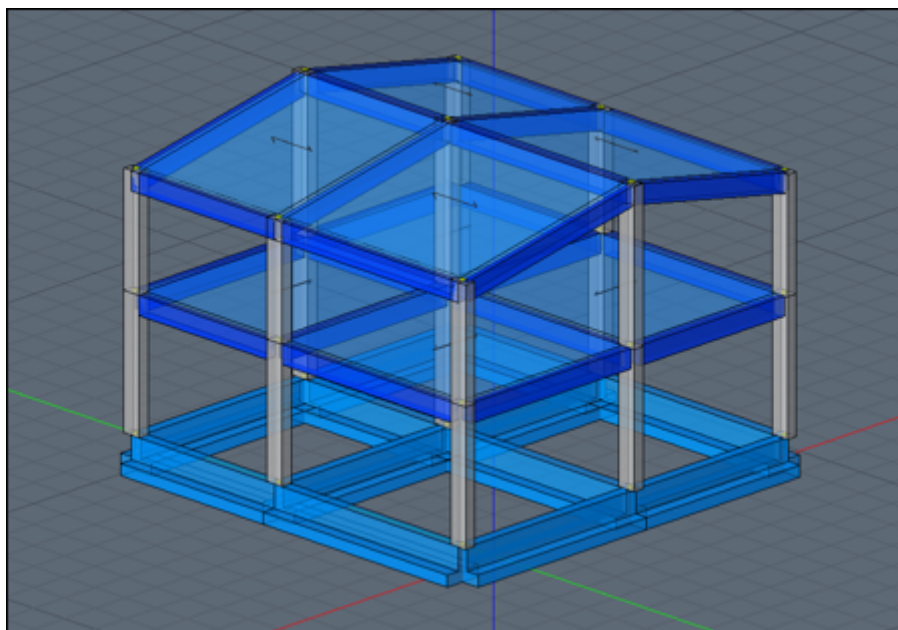



Figura 27.1 – La struttura di esempio

27.3 Criteri di verifica

Il primo passo da seguire consiste nel distinguere gli elementi strutturali nuovi da quelli esistenti attraverso la definizione dei [Criteri di verifica], § 22.4.2 a pagina 358.

Nella figura 27.2 nella pagina successiva sono evidenziati i criteri di verifica per gli elementi di nuova costruzione e quelli relativi agli elementi esistenti.

Volendo verificare le preimpostazioni della struttura di esempio: dalla finestra grafica selezionando (con un click del tasto sinistro del mouse) un oggetto appartenente al piano esistente, ad esempio un pilastro, si potrà constatare che la proprietà *Criterio di verifica* assume correttamente il valore *Cls_Pilastri_Esist* (vedi fig. 27.3(a) a pagina 489).

Allo stesso modo si può verificare l'associazione del corretto criterio di verifica per gli elementi strutturali appartenenti al piano di nuova costruzione (vedi fig. 27.3(b) a pagina 489).

Tornando al caso degli elementi esistenti, cliccando sul tasto di libreria accanto al criterio *Cls_Pilastri_Esist* si potrà avere accesso alle corrispondenti proprietà. Per i dettagli fare riferimento alla sezione [Proprietà Cls per pilastri], § 22.4.2.1.1 a pagina 359.

I parametri coinvolti nel caso di elementi esistenti saranno:

Elemento Esistente: ciò che contraddistingue un elemento esistente da un elemento nuovo è l'attivazione di questo controllo all'interno della sezione ▼ Generici N.T..

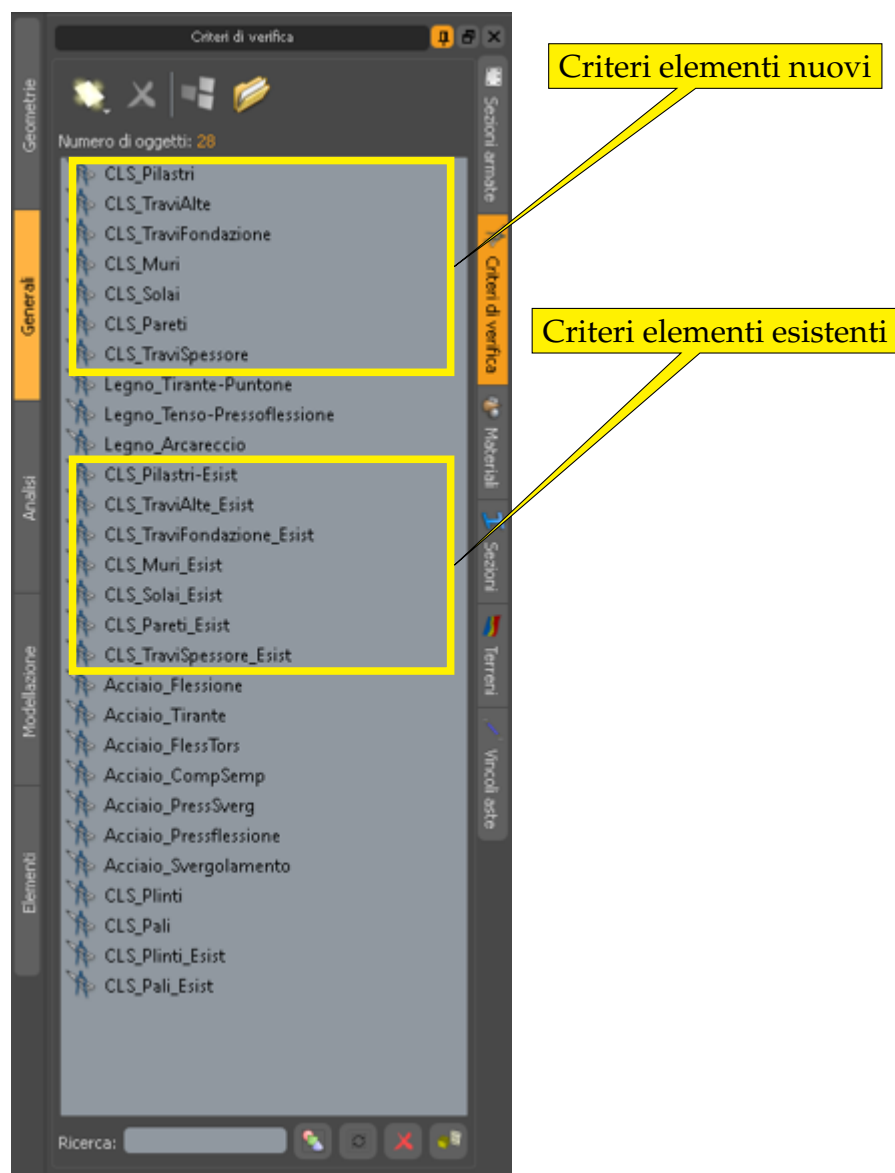



Figura 27.2 – Criteri di verifica

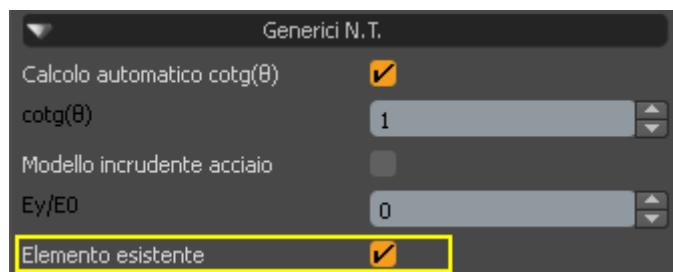



Figura 27.4 – Sezione Generici N.T.

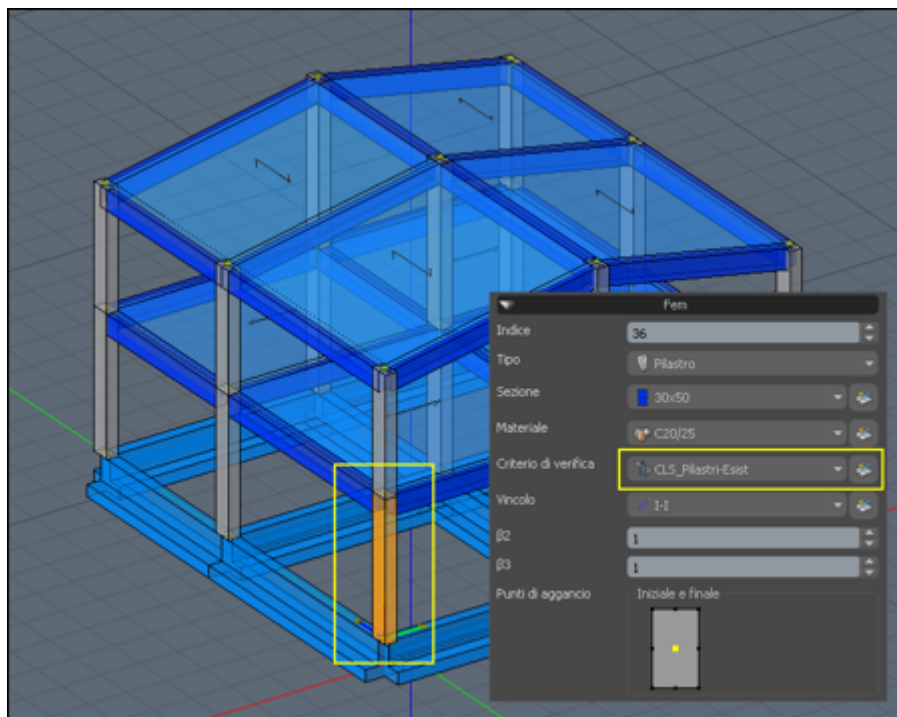
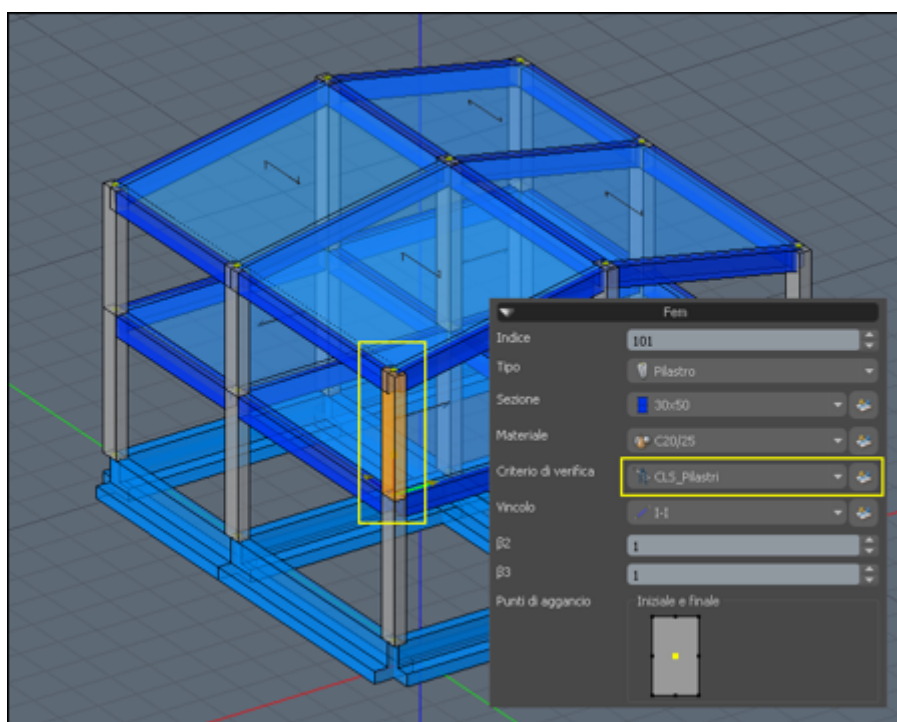
Questa operazione rende disponibile una sezione apposita, ▼ Generici N.T. Elementi esistenti, come mostrato in figura 27.5 a pagina 490.

(a) Criterio di verifica per pilastro esistente

(b) Criterio di verifica per pilastro nuovo

Figura 27.3 – Criteri di verifica

Figura 27.5 – Sezione Generici N.T. Elementi esistenti

In tale sezione sono richiesti i valori medi delle resistenze meccaniche dei materiali, il fattore di confidenza, noto una volta definito il livello di conoscenza in base ad indagini conoscitive, il fattore di struttura "q" per gli elementi duttili e quello relativo agli elementi fragili.

Staffe min di normativa: disattivare tale controllo relativo all'armatura minima delle staffe all'interno della sezione ▾ Generici.

Staffe min di normativa fondazione: analogamente disattivare l'armatura minima per le staffe di fondazione.

Figura 27.6 – Sezione Generici

Direzione X: disattivare tale controllo relativo alla direzione X all'interno della sezione ▾ Gerarchia delle resistenze.

Direzione Y: analogamente disattivare il check per l'altra direzione.

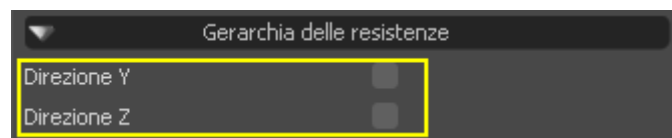
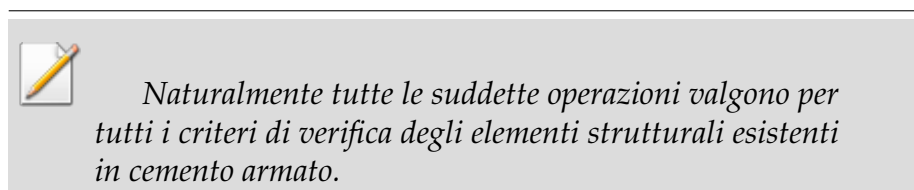



Figura 27.7 – Gerarchia delle resistenze

Gerarchia Flessione-Taglio: disattivare il check all'interno della sezione ▼ Verifica N.T..

Figura 27.8 – Verifica N.T.

Modificare, inoltre, le percentuali di armatura minima in funzione della norma con cui è stato calcolato l'edificio esistente.

Naturalmente tutte le suddette operazioni valgono per tutti i criteri di verifica degli elementi strutturali esistenti in cemento armato.

27.4 Armature esistenti

In una struttura esistente sono note le armature dei vari elementi strutturali (se si hanno a disposizione i disegni esecutivi della parte esistente, altrimenti è necessario eseguire delle indagini conoscitive) pertanto è necessario definirle dalla voce di menu [Armatura], § 19.3.1 a pagina 282.

Inserire le armature

1. Selezionare le aste da armare
2. Invocare la voce di menu [Armatura], § 19.3.1 a pagina 282

   Sulla barra di controllo compariranno le opzioni di figura 27.9.

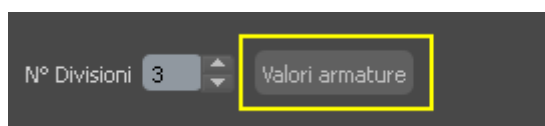



Figura 27.9 – Parametri e opzioni per l'inseriemento delle armature

3. Cliccare sul tasti Valori armature in modo da aprire il dialogo di figura 27.10 che permette di definire il numero di divisioni delle aste e caratterizzare le proprietà per il singolo tronco.

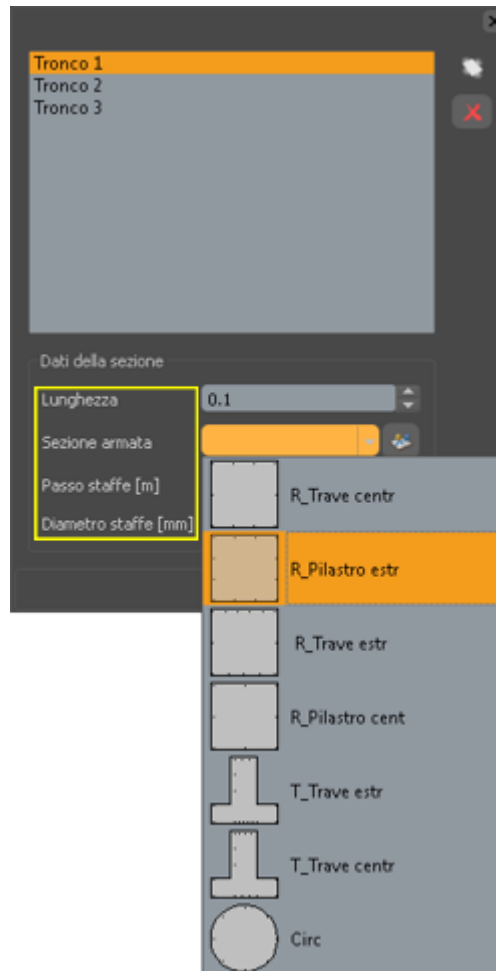



Figura 27.10 – Proprietà dei tronchi

Il dialogo prevede:

Lunghezza: rappresenta la lunghezza relativa del tratto della sezione che sarà armata;

Sezione armata: rappresenta la tipologia della sezione da armare e si distingue in sezione di estremità e sezione centrale;

Passo e diametro staffe: la geometria delle staffe presenti nella sezione armata.

Quando si assegna l'armatura alle travi, si consiglia di suddividerle in tre parti: 0.1 - 0.8 - 0.1. Tale suddivisione deriva dal fatto che le zone più armate sono quelle di estremità, in cui il passo delle staffe è abbastanza fitto. Per i pilastri, invece, si consiglia di suddividerle nel seguente modo:

0.1 - 0.7 - 0.2. Tale suddivisione deriva dal fatto che la zona in testa al pilastro contiene l'altezza della trave.

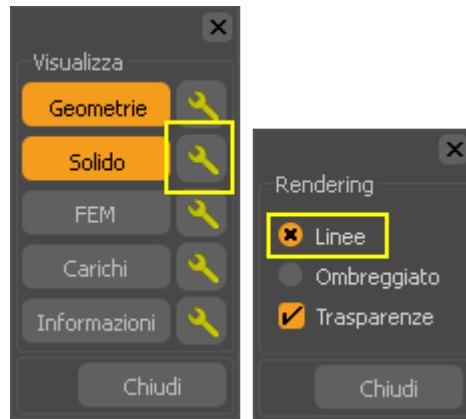
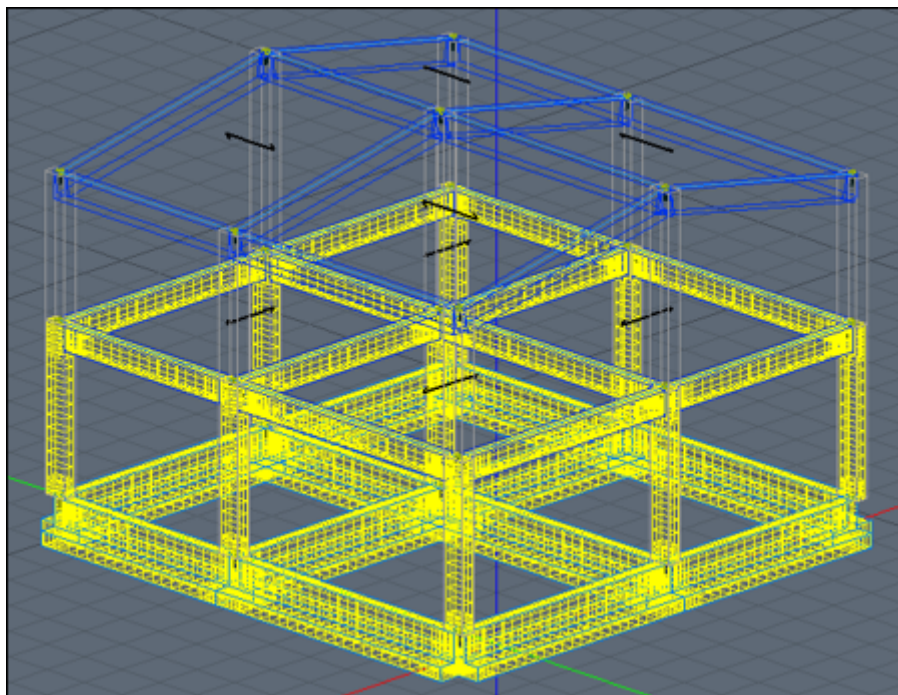
Una volta inserite le armature per meglio apprezzarne la disposizione attivare dalle [Opzioni della vista], § 15.4.5.3 a pagina 167, come mostrato in figura 27.11(a), la modalità *Linee*:

(a) Vista a Linee

(b) La struttura armata

Figura 27.11 – Visualizzazione d'insieme della struttura con le armature

27.5 Calcolo

Una volta modellata la struttura e inserite le armature esistenti nei vari elementi strutturali, si può procedere al calcolo della stessa, seguendo le

procedure riportate alla sezione [Calcolo], § 26.1 a pagina 436.

Con tale tipo di struttura il calcolo viene eseguito utilizzando nello spettro il fattore di struttura q della parte nuova dell'edificio (ad esempio q=3,12 per il c.a., q=1,5 per il legno, q=1,0 per l'acciaio). Vedi figura 27.12(b) nella pagina successiva.

I calcoli da effettuare saranno di due tipologie:

- CalcoloNT_SLV(STR/GEO)
- CalcoloNT_SLE_SLD

27.6 Verifiche

Una volta completata la fase precedente cliccare sul tab Carpenterie ed avviare la procedura automatica di calcolo e disposizione armature:

1. Selezionare, nel navigatore, il nodo principale *Struttura 2D_0*
2. Cliccare sul tasto Calcola-disponi armatura, come mostrato in figura 27.13 a pagina 496.

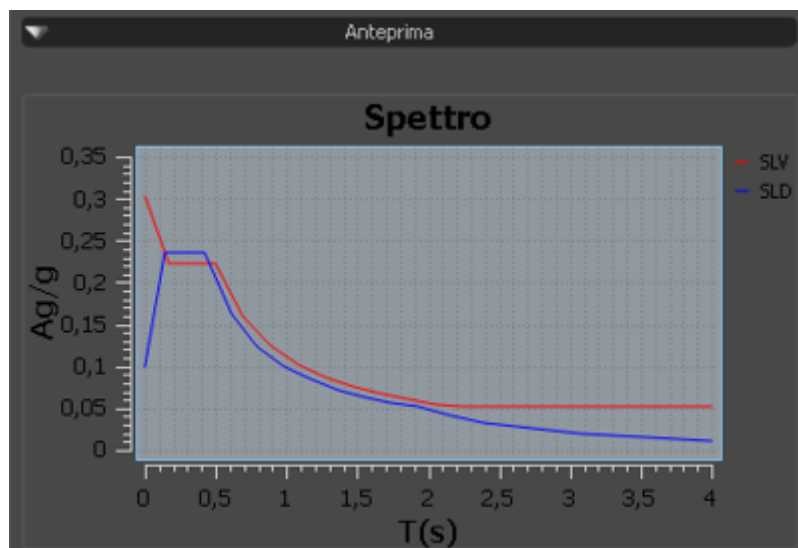
A seguito di tale procedura, il programma eseguirà la disposizione automatica degli elementi strutturali appartenenti al piano primo (piano di nuova costruzione) (vedi figura 27.14 a pagina 497), poiché gli elementi appartenenti alla parte nuova saranno verificati con le effettive sollecitazioni provenienti dal calcolo.

Per gli elementi esistenti invece, le sollecitazioni vengono amplificate per il fattore di struttura q (relativo alla parte nuova) e riportate alle sollecitazioni corrispondenti a q=1. Quest'ultime, vengono poi divise per il fattore q degli elementi duttili per le verifiche a flessione, e per il fattore q degli elementi fragili per le verifiche a taglio. Tali valori vanno stabiliti nella fase iniziale di definizione dei criteri di verifica e saranno utilizzati per determinare le sollecitazioni per la verifica degli elementi strutturali esistenti.

La verifica degli elementi strutturali nuovi verrà eseguita sia allo stato limite ultimo (SLU) che allo stato limite di esercizio (SLE); mentre la verifica degli elementi strutturali esistenti verrà eseguita solo con riferimento allo SLU, in quanto la verifica SLE non viene prevista dalla normativa vigente NTC2008.

27.6.1 Verifica delle aste

Per visualizzare i tabulati di verifica allo SLU:

1. Cliccare sul tab Modellatore
2. Selezionare dalla tavolozza analisi il calcolo *CalcoloNT_SLV(STR/GEO)*

(a) Grafico dello spettro

(b) Proprietà per lo stato limite ultimo

Figura 27.12 – Proprietà dello spettro per N.T.

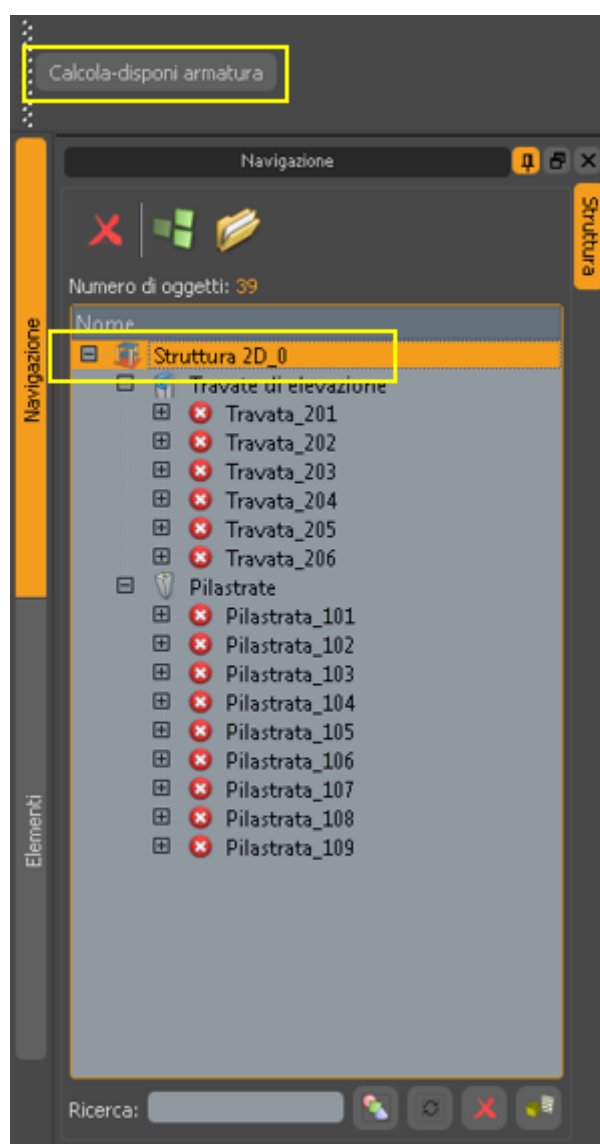



Figura 27.13 – Editor delle carpenterie, armature non disposte

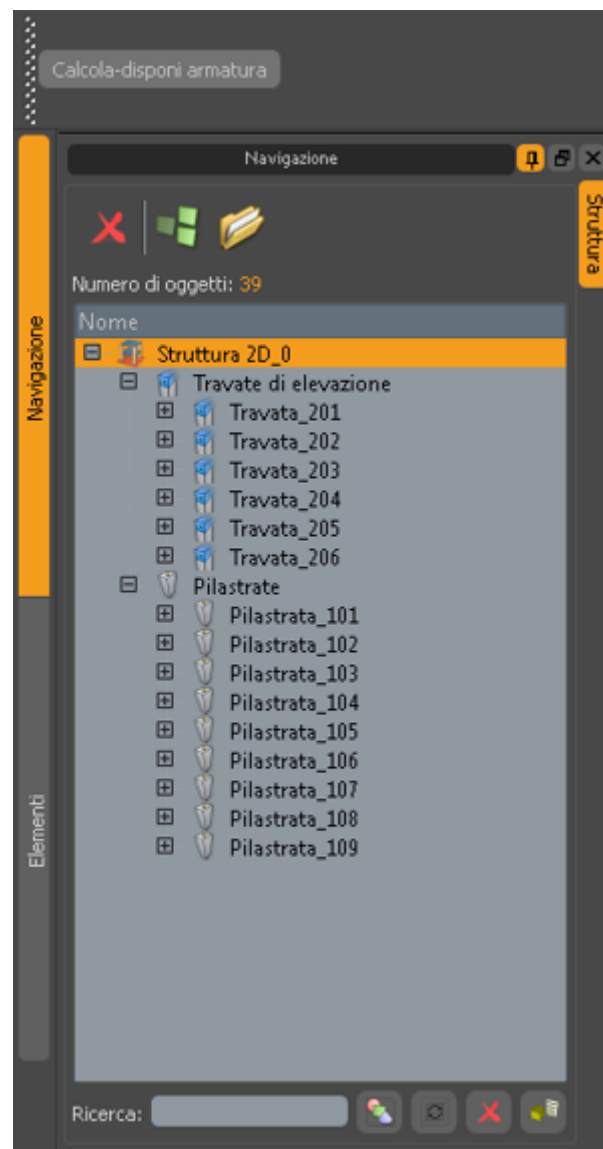



Figura 27.14 – Editor delle carpenterie, armature disposte

3. Dalla barra di controllo cliccare sull'icona

4. Dal menu contestuale scegliere la voce *Controllo elementi non verificati* per visualizzare eventualmente elementi non verificati.

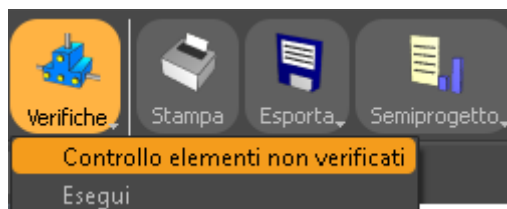



Figura 27.15 – Verifica elementi non verificati

5. Cliccare dunque nuovamente sull'icona e sulla voce *Esegui*

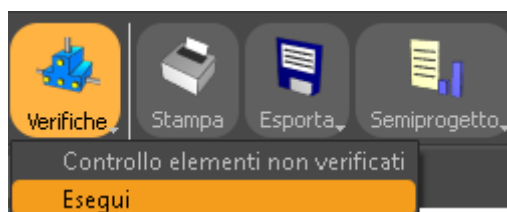



Figura 27.16 – Verifica

6. Sulla barra di controllo cliccare sul menu a tendina e scegliere come *Tipo* di verifica *Aste Cls armate* come mostrato nelle figura 27.17.

(a) Scelta del tipo di verifica (b) Verifica delle aste armate

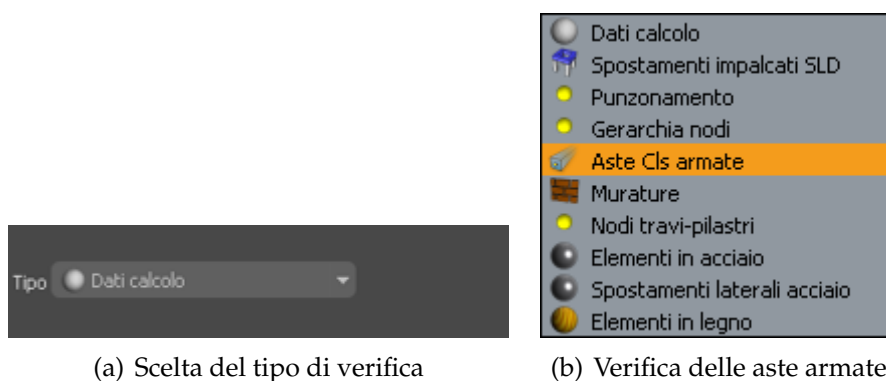



Figura 27.17 – Comandi per la verifica

7. Confermare su

In tal modo verranno visualizzati i tabulati di verifica di tutti gli elementi strutturali esistenti (vedi fig. 27.18 nella pagina successiva).

IperSpaceMax 4.0.0 Copyright® 2012 Soft.Lab:

Verifica delle travi

Scenario di calcolo : **Set_NT_SLVA2STR/GEO**

Trave : 1 (Trave_1) [104 (Nodo_104) , 107 (Nodo_107)] Pilastrate [37 (Pilastro_37) , 38 (Pilastro_38)]

Sez. R: By= 30.0 cm Bz=50.0 cm L=465.5 cm Ln=415.5 cm

*Criterio : CLS_TraviAlte_Esist - Verifica a flessione :***Verificato**

X	M-	M+	ΔM-	ΔM+	Afs	Afi	sc-	sf-	sc+	sf+	C-	C+
cm	kg*m	kg*m	kg*m	kg*m	cmq	cmq						
ILN	9078	2474	--	--	12.06	10.05	-0.40	0.84	-0.11	0.27	(4+5)-II-2	(6+7)-II-1
41.5	6415	2611	--	--	12.06	10.05	-0.28	0.59	-0.11	0.29	(4+5)-II-2	(6+7)-II-1
CAMP	3325	4687	--	--	8.04	8.04	-0.17	0.46	-0.24	0.64	(6+7)-II-1	(4+5)-II-2
373.9	5187	5201	--	--	12.06	10.05	-0.22	0.48	-0.23	0.57	(4+5)-II-1	(6+7)-II-2
FLN	7356	5525	--	--	12.06	10.05	-0.32	0.68	-0.24	0.61	(4+5)-II-1	(6+7)-II-2

X	x-	d-	x-/d-	x+	d+	x+/d+	Mr-	Mr+	C-	C+	Stato-	Stato+
cm	cm	cm		cm	cm		kg*m	kg*m				
ILN	15.0	47.0	0.319	13.2	47.0	0.281	20120	16818	(4+5)-II-2	(6+7)-II-1	Parz.	Parz.
41.5	14.9	47.0	0.317	13.2	47.0	0.281	20120	16818	(4+5)-II-2	(6+7)-II-1	Parz.	Parz.
CAMP	12.7	47.0	0.270	12.8	47.0	0.271	13500	13500	(6+7)-II-1	(4+5)-II-2	Parz.	Parz.
373.9	14.9	47.0	0.316	13.3	47.0	0.283	20120	16818	(4+5)-II-1	(6+7)-II-2	Parz.	Parz.
FLN	14.9	47.0	0.318	13.3	47.0	0.283	20120	16818	(4+5)-II-1	(6+7)-II-2	Parz.	Parz.

Verifica a taglio:cot(θ)=2.500

Sez	Td	VRdm	VRcd	VRsd	VRd	Tpl	Mr	Dx	Staffe	AstDisp
	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg*m	cm	cmq/m	cmq/m
Sin	7615	7750	25726	10345	10345	0	16818	40.0	3.00	10.05
Des	6427	7750	25726	10345	10345	0	20120	40.0	3.00	10.05

Trave : 2 (Trave_2) [101 (Nodo_101) , 102 (Nodo_102)] Pilastrate [36 (Pilastro_36) , 39 (Pilastro_39)]

Sez. R: By= 30.0 cm Bz=50.0 cm L=550.0 cm Ln=520.0 cm

*Criterio : CLS_TraviAlte_Esist - Verifica a flessione :***Verificato**

X	M-	M+	ΔM-	ΔM+	Afs	Afi	sc-	sf-	sc+	sf+	C-	C+
cm	kg*m	kg*m	kg*m	kg*m	cmq	cmq						
ILN	10987	9420	--	--	12.06	10.05	-0.48	1.02	-0.42	1.04	(4+5)-I-3	(6+7)-I-1
52.0	8527	8402	--	--	12.06	10.05	-0.37	0.79	-0.37	0.92	(6+7)-I-3	(4+5)-I-1
CAMP	6279	7230	--	--	8.04	8.04	-0.32	0.86	-0.37	0.99	(6+7)-I-3	(4+5)-I-1
468.0	6306	4400	--	--	12.06	10.05	-0.27	0.58	-0.19	0.48	(4+5)-I-1	(6+7)-I-3
FLN	9000	5205	--	--	12.06	10.05	-0.39	0.83	-0.23	0.57	(4+5)-I-1	(6+7)-I-3

Figura 27.18 – Esempio di stampa delle verifiche delle aste

27.6.2 Verifica dei nodi

Particolarmente interessanti sono le verifiche inerenti ai nodi esistenti. Analogamente con quanto fatto in precedenza:

1. Portarsi sulla barra di controllo, cliccare sull'icona e scegliere la voce *Esegui*
2. Dal menu a tendina delle verifiche scegliere la voce *Nodi travi-pilastri* come mostrato in figura 27.19.

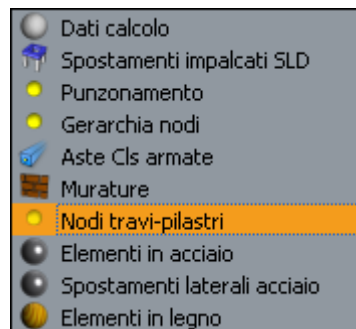



Figura 27.19 – Verifica dei nodi travi-pilastri

Sulla barra di controllo compariranno i controlli di figura 27.20.

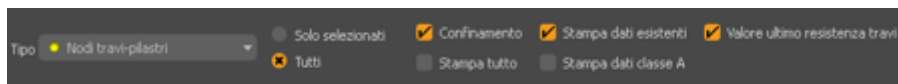



Figura 27.20 – Parametri per la verifica

Per tutti i nodi o per i soli selezionati è possibile scegliere tra varie opzioni:

Confinamento: indica se è stato considerato o meno il contributo del confinamento delle staffe;

Stampa Dati Esistenti: vengono stampate tutti i dati relativi alla verifica dei nodi appartenenti a travi-pilastri esistenti;

Valore Ultimo resistenza Travi: se è attivo il check la verifica è più penalizzante perché viene presa in considerazione la resistenza ultima dei ferri della trave anziché la resistenza di progetto.

La verifica viene eseguita come indicato dalle formule 8.7.2.2 e 8.7.2.3 della § C8.7.2.5 [Circolare_617_NTC, 2009].

3. Confermare sul tasto per visualizzare i tabulati di verifica di tutti i nodi degli elementi strutturali esistenti. vedi fig. 27.21 a fronte.

IperSpaceMax 4.0.0 Copyright® 2012 Soft.Lab:

Verifica dei nodi

Scenario di calcolo : **Set_NT_SLVA2STR/GEO**

Verifiche Nodi esistenti
Confinamento SI/NO=indica se è stato considerato o meno il contributo del confinamento delle staffe
Snervamento armatura travi SI/NO=indica se nel valutare il taglio nel nodo è stata considerato il valore di snervamento dell'armatura nelle travi oppure il valore relativo al livello di sforzo per le sollecitazioni presenti
Nodo=indice del nodo
Comb=combinazione
N=sforzo normale sul nodo (sforzo normale pilastro superiore)
SigT1,SigT2=tensione nel calcestruzzo di trazione nelle due direzioni
VC1,VC2=taglio nel pilastro superiore nelle due direzione
Ft1,Ft2=massima azione di trazione nell'armatura superiore delle travi nelle due direzioni
SigC1,SigC2=tensione di compressione nelle due direzioni
SigTR,SigCR=resistenze a trazione e compressione SigTR=0.3*(fc(MPa))^1/2,SigCR=0.5*fc, fc=0.83*rcm/FC (cfr. C8.7.2.5)
fydp=resistenza staffe pilastro
bj1,bj2=larghezza effettiva del nodo nelle due direzioni
hjc1,hjc2= altezza del nodo nelle due direzioni
hjw1,hjw2=altezza utile delle travi nelle due direzioni
Ast1,Ast2=area di staffe comprensiva di eventuali spinotti nelle due direzioni per metro di lunghezza,NR=non richiesta quando non si applica il confinamento
As1,As2=area acciaio superiore delle travi nella direzione 1 e 2
fyw1,fyw2=resistenza acciaio travi
NOTA: Il segno '--' indica che la combinazione non si applica alla direzione corrispondente
Dati verifica nodi esistenti (NTC 7.4.4.3 e C8.7.2.5)

Nodo	fydp	bj1	hjc1	hjw1	Ast1	As1	fyw1	bj2	hjc2	hjw2	Ast2	As2	fyw2
	kg/cmq	cm	cm	cm	cmq/m	cmq	kg/cmq	cm	cm	cm	cmq/m	cmq	kg/cmq
101	3261	45.0	30.0	44.0	14.36	12.06	3750	30.0	50.0	44.0	14.36	12.06	3750
104	3261	45.0	30.0	44.0	14.36	12.06	3750	30.0	50.0	44.0	14.36	12.06	3750
107	3261	45.0	30.0	44.0	14.36	12.06	3750	30.0	50.0	44.0	14.36	12.06	3750
102	3261	45.0	30.0	44.0	14.36	12.06	3750	30.0	50.0	44.0	14.36	12.06	3750
105	3261	45.0	30.0	44.0	14.36	12.06	3750	30.0	50.0	44.0	14.36	12.06	3750
108	3261	45.0	30.0	44.0	14.36	12.06	3750	30.0	50.0	44.0	14.36	12.06	3750
103	3261	45.0	30.0	44.0	14.36	12.06	3750	30.0	50.0	44.0	14.36	12.06	3750
106	3261	45.0	30.0	44.0	14.36	12.06	3750	30.0	50.0	44.0	14.36	12.06	3750
109	3261	45.0	30.0	44.0	14.36	12.06	3750	30.0	50.0	44.0	14.36	12.06	3750

Figura 27.21 – Esempio di stampa delle verifiche dei nodi

Per visualizzare i tabulati di verifica allo SLU e allo SLE degli elementi strutturali di nuova costruzione seguire la procedura standard.

28 Verifica dei nodi in acciaio

Le nuove funzionalità introdotte dalla versione 3.0 di **IperSpace MAX®**, rendono possibile l'importazione automatica delle sollecitazioni strutturali all'interno dell'applicativo per la verifica dei nodi in acciaio, adeguato alle Norme Tecniche delle Costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008.

L'obiettivo del presente capitolo è fornire le indicazioni basilari per eseguire correttamente la suddetta importazione. Per tutto quanto non espressamente riportato in questo documento, riguardo l'applicativo per la verifica dei nodi in acciaio, si rimanda alla guida di SteelNode.

Nella figura 28.1 è rappresentato il modello strutturale dell'esempio con l'evidenza dei nodi che si andranno ad esaminare.

Anche in questo caso, si opererà su una struttura già modellata reperibile tra gli esempi a corredo di **IperSpace MAX®**.

Aprire la struttura

1. Scegliere la voce di menu File ⊳ [Apri], § 16.1.2 a pagina 185
2. Caricare il file *spc* `Esempio_Nodi_Acciaio_01.spc` dal percorso `C:\Soft.Lab\IperSpaceMax4\Esempi\Completi`

28.1 Concetti generali

Per accedere all'ambiente dedicato alla verifica dei nodi in acciaio, occorre percorrere le seguenti fasi:

1. Messa a punto del modello strutturale (geometria, materiali, vincoli, carichi, scenari di calcolo etc..);
2. Calcolo strutturale del modello;
3. Scelta della tipologia di nodo da verificare;
4. Importazione delle sollecitazioni e accesso all'ambiente dedicato alla verifica dei nodi in acciaio;

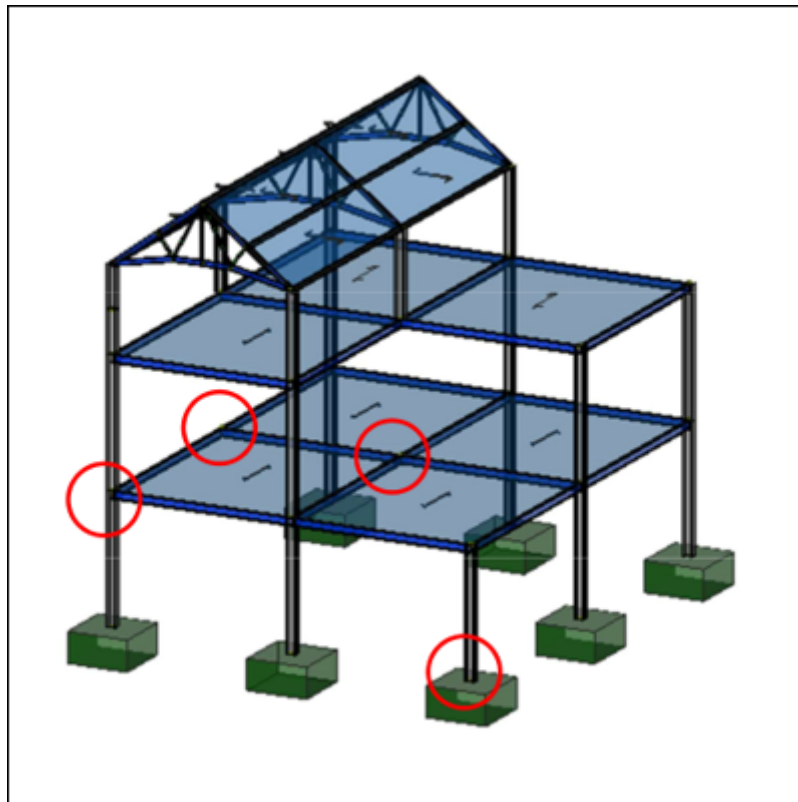



Figura 28.1 – Modello strutturale

5. Settaggio della tipologia di nodo da verificare (geometria, materiali, ecc..);

6. Verifica del nodo;

7. Stampa della relazione.

28.2 Tipologie di nodi

Allo stato attuale, in **IperSpaceMax4**, sono implementate le seguenti tipologie di nodo in acciaio:

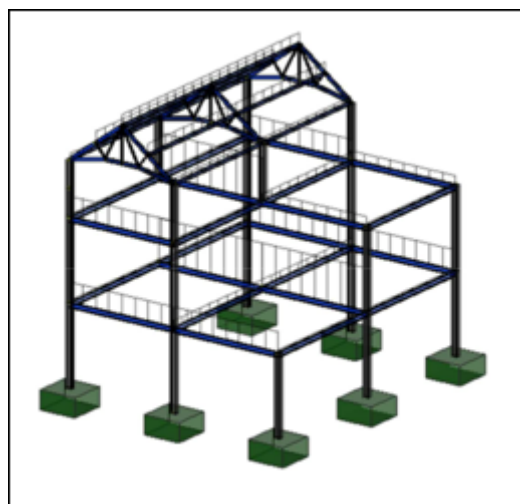
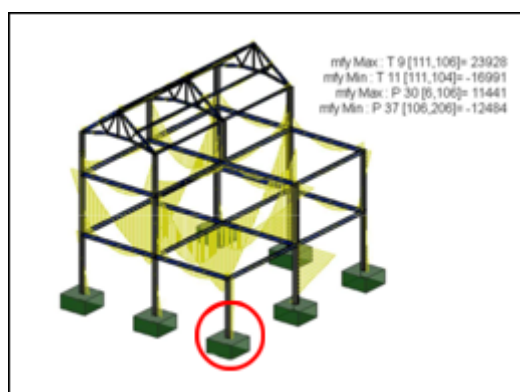
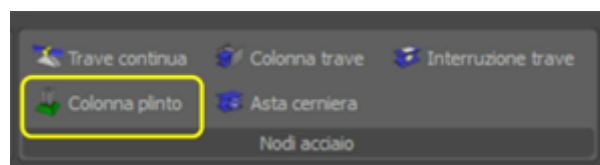
- Trave Continua
- Colonna Trave
    - Cerniera Trave-Colonna
        - ⋆ Collegamento all'anima della colonna
        - ⋆ Collegamento all'ala della colonna
    - Incastro Trave-Colonna
    - Incastro Trave-Colonna irrigidito

(a) Carichi sul modello

(b) Sollecitazioni di calcolo

(c) Scelta della tipologia di nodo

Figura 28.2 – Step temporali per la verifica dei nodi in acciaio

- Interruzione Trave
  - Nodo di Continuità
  - Tubo Flangiato
- Colonna Plinto
- Asta Cerniera

Si riporta di seguito una breve descrizione delle tipologie sopra elencate.

28.2.1 Trave continua

28.2.1.1 Nodo Cerniera per trave continua

Il nodo cerniera per trave continua, vedi fig. 28.3 a fronte, consente di verificare il collegamento tra una trave principale ed una secondaria collegata alla principale tramite una cerniera ottenuta con squadrette angolari che collegano l'anima delle tre travi. Si suppone che il collegamento avvenga tra due travi ad "I" o a "T". Lo sforzo di trazione che si genera nell'ala superiore è trasferito dalla trave di sinistra a quella di destra tramite un coprigiunto bullonato agli estradossi delle due travi, che si suppone siano allineati, mentre quello di compressione tramite imbottiture in corrispondenza delle ali inferiori; per quest'ultime non è prevista nessuna verifica.

28.2.2 Colonna trave

28.2.2.1 Nodo cerniera trave-anima colonna

Il nodo cerniera per trave-anima colonna, vedi fig. 28.4 a pagina 508, consente di verificare il collegamento tra una colonna ed una trave mediante squadrette angolari che collegano l'anima dei due elementi. Si suppone che il collegamento avvenga tra una colonna con sezione ad "I" ed una trave a sezione ad "I" o a "T".

28.2.2.2 Nodo cerniera trave-ala colonna

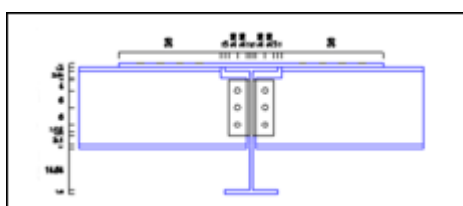
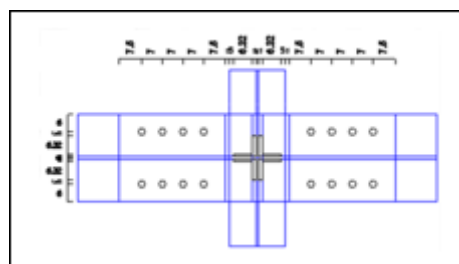
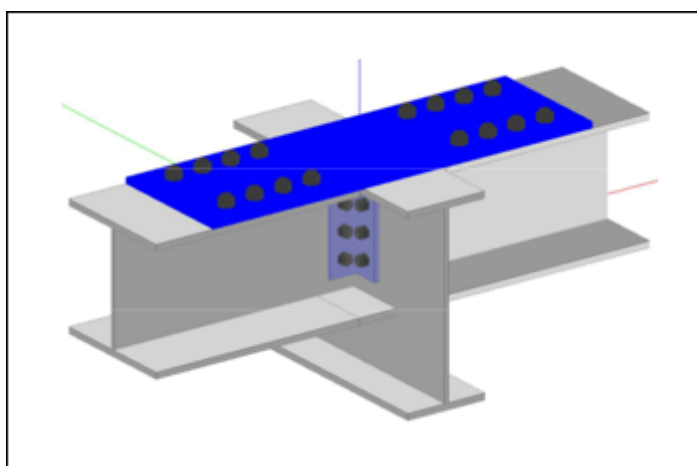
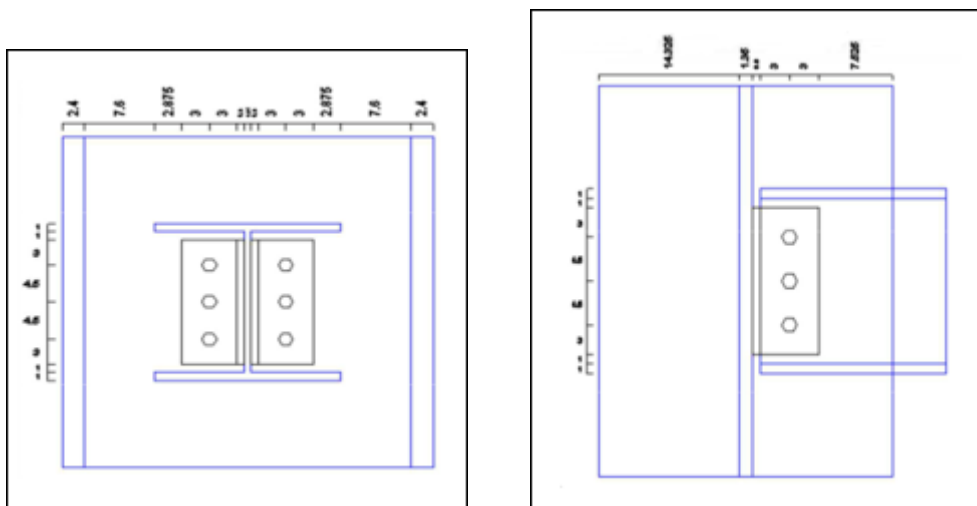
Il nodo cerniera per trave-ala colonna, vedi fig. 28.5 a pagina 509, consente di verificare il collegamento tra una colonna ed una trave mediante squadrette angolari che collegano l'ala della colonna e l'anima della trave. Si suppone che il collegamento avvenga tra una colonna con sezione ad "I" ed una trave a sezione ad "I" o a "T".

(a) Schema in vista frontale

(b) Schema in vista dall'alto

(c) Vista assonometrica in rendering

Figura 28.3 – Nodo Cerniera per trave continua

(a) Schema in vista frontale

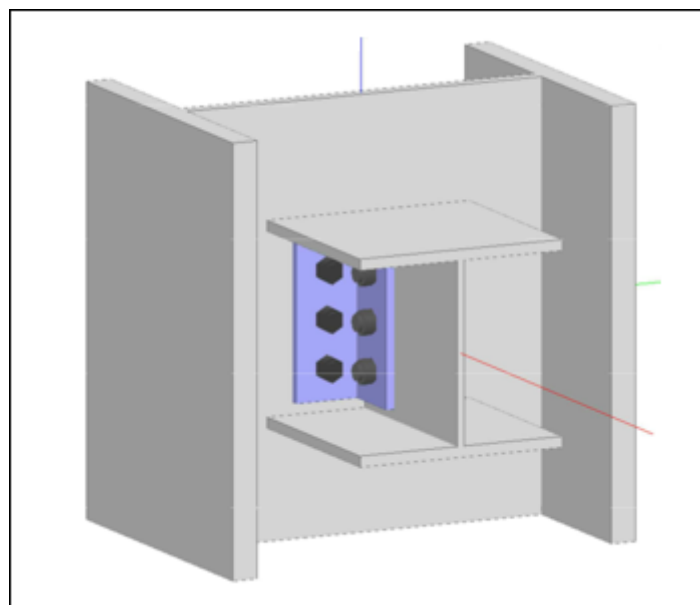
(b) Schema in vista laterale

(c) Vista assonometrica in rendering

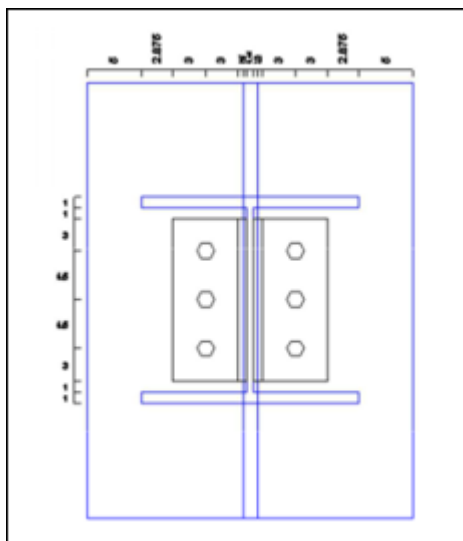
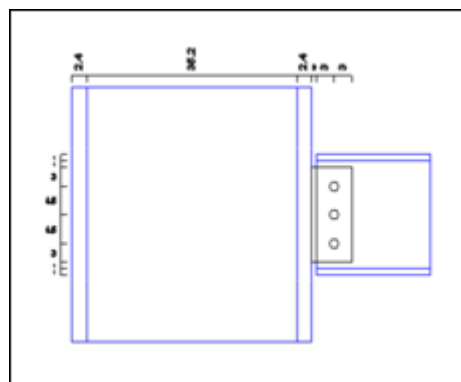
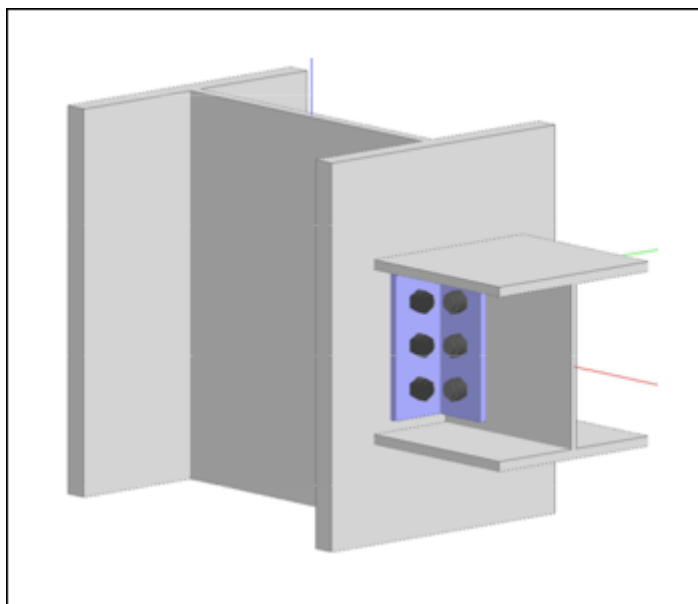
Figura 28.4 – Nodo cerniera trave-anima colonna

(a) Schema in vista frontale

(b) Schema in vista laterale

(c) Vista assonometrica in rendering

Figura 28.5 – Nodo cerniera trave-ala colonna

28.2.2.3 Nodo incastro trave-colonna

Il nodo incastro trave-colonna, vedi fig. 28.6 nella pagina successiva, consente di verificare il collegamento tra una trave ed una colonna, realizzato mediante flangia saldata alla trave e bullonata all'ala della colonna.

Si suppone che il collegamento avvenga tra una colonna con sezione ad "I" ed una trave a sezione ad "I" o a "T".

Il momento in corrispondenza della sezione di estremità della trave, viene trasferito alla colonna tramite bulloni disposti simmetricamente rispetto alle ali della trave.

Possono essere inseriti, inoltre, bulloni aggiuntivi il cui compito è quello di assorbire solo azioni taglianti e assiali derivanti dall'eventuale sforzo normale nella trave.

Il nodo presenta irrigidimenti orizzontali e diagonali atti a trasferire il momento dalla trave alla colonna, proporzionati in base alla resistenza ultima delle membrature ovvero in funzione del momento di plasticizzazione della trave e alla resistenza ultima del pannello d'anima rettangolare compreso tra gli irrigidimenti orizzontali soggetto ad azioni taglianti ultime.

28.2.2.4 Nodo incastro trave irrigidita-colonna

Il nodo incastro trave irrigidita-colonna, vedi fig. 28.7 a pagina 512, consente di verificare il collegamento tra una colonna ed una trave, rinforzato mediante l'inserimento di un irrigidimento in corrispondenza dell'ala inferiore della trave. Si suppone che il collegamento avvenga tra una colonna con sezione ad "I" ed una trave a sezione ad "I" o a "T". Come il nodo incastro trave-colonna, anche questo nodo presenta irrigidimenti orizzontali e diagonali atti a trasferire il momento dalla trave alla colonna.

28.2.3 Interruzione trave

28.2.3.1 Nodo di continuità

Il nodo di continuità, vedi fig. 28.8 a pagina 513, consente di verificare il collegamento testa-testa tra due travi, mediante coprigiunti d'ala e d'anima bullonati alle travi. Si suppone che il collegamento avvenga tra una colonna con sezione ad "I" ed una trave a sezione ad "I" o a "T".

28.2.3.2 Tubo flangiato

Il nodo tubo flangiato, vedi fig. 28.9 a pagina 514, consente di verificare il collegamento testa-testa tra due elementi tubolari, mediante flange bullonate, eventualmente irrigidite da costole.

(a) Schema in vista laterale

(b) Vista assonometrica in rendering

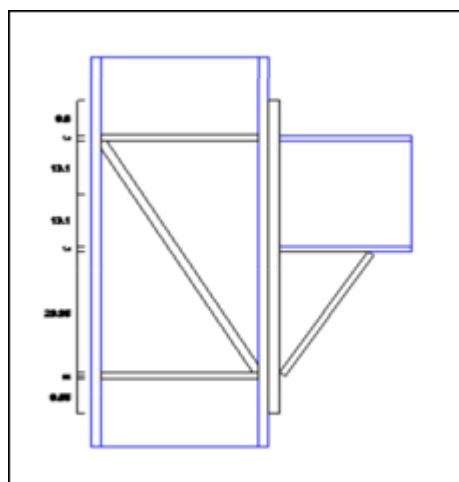
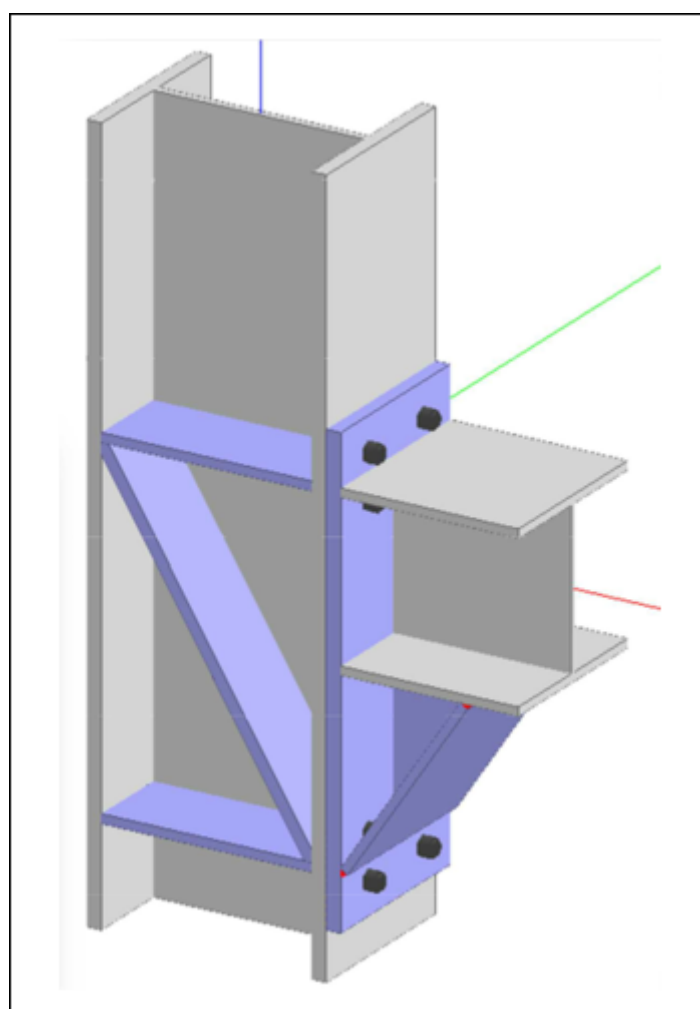
Figura 28.6 – Nodo incastro trave-colonna

(a) Schema in vista laterale

(b) Vista assonometrica in rendering

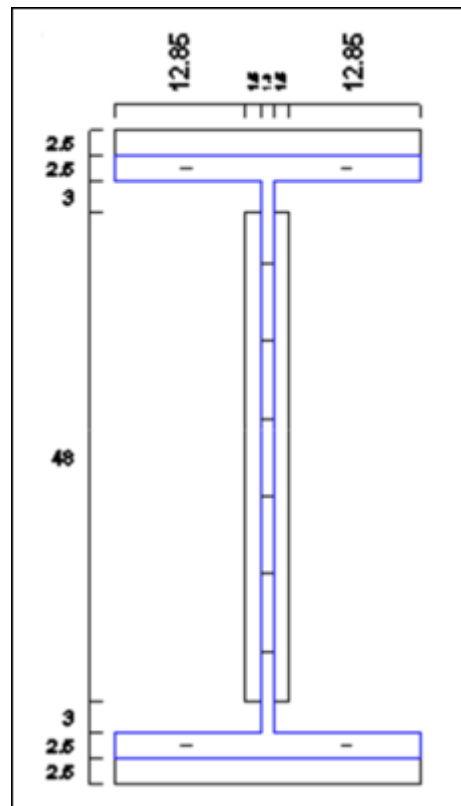
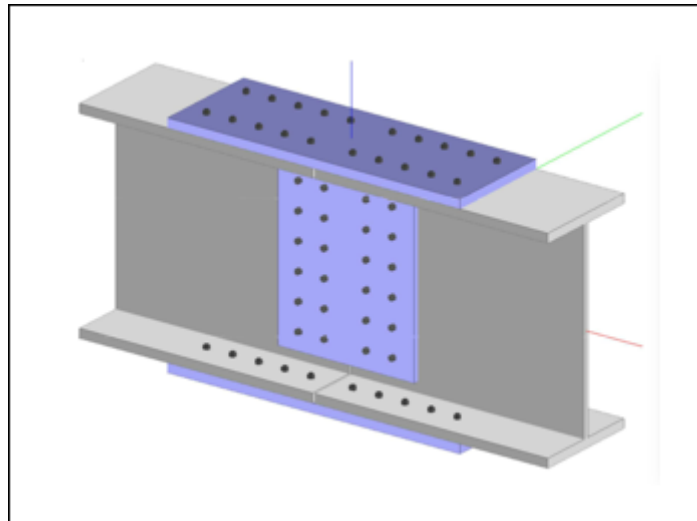
Figura 28.7 – Nodo incastro trave irrigidita-colonna

(a) Schema in vista frontale

(b) Vista assonometrica in rendering

Figura 28.8 – Nodo di continuità

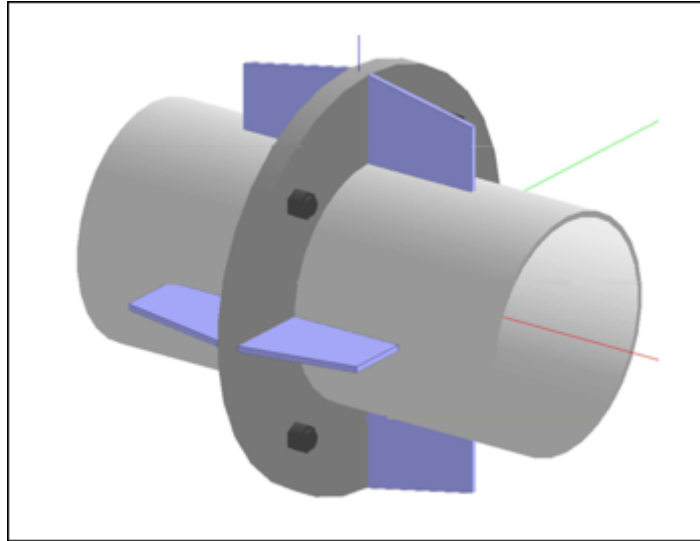



Figura 28.9 – Tubo flangiato

28.2.4 Colonna plinto

28.2.4.1 Nodo colonna su plinto

Il nodo incastro tra colonna e plinto, vedi fig. 28.10 nella pagina successiva, consente di verificare il collegamento tra una colonna in acciaio ed un plinto in calcestruzzo. Il collegamento avviene mediante una piastra di base eventualmente irrigidita da costole collegata al plinto tramite tirafondi che possono essere vincolati al plinto tramite uncino, traversa in direzione X, traversa in direzione Y, rosette circolari. Le verifiche comprendono:

- Verifica piastra di base a flessione
- Verifica costole a taglio e flessione
- Calcolo delle saldature delle costole alla colonna, alla piastra, e tra di loro
- Verifica lunghezza tirafondi
- Calcolo della dimensione delle rosette
- Calcolo delle modulo di resistenza richiesto alle traverse

28.2.5 Asta cerniera

28.2.5.1 Nodo cerniera per trave appoggiata

Il nodo cerniera per trave appoggiata, vedi fig. 28.11 a pagina 516, consente di verificare il collegamento tra una trave principale ed una

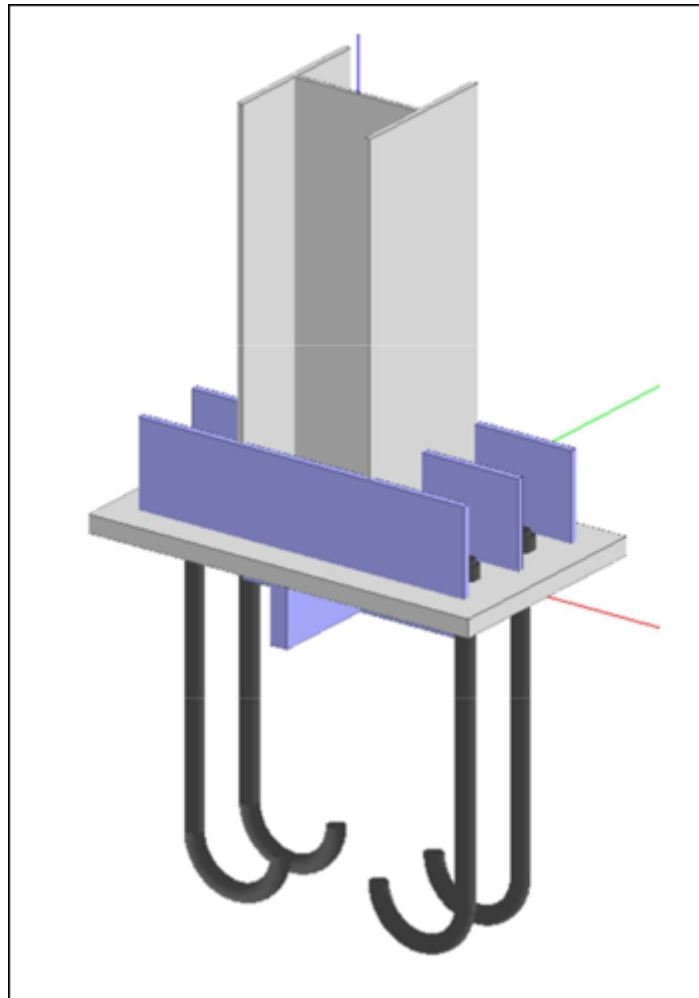



Figura 28.10 – Nodo colonna su plinto

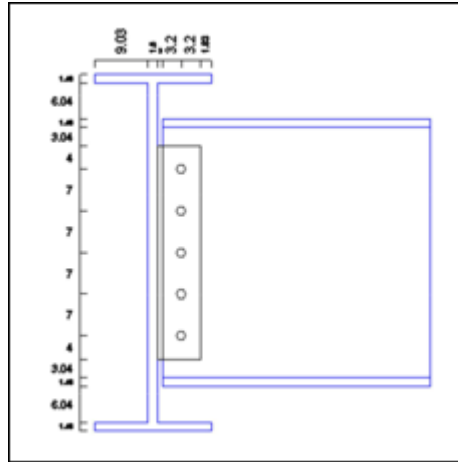
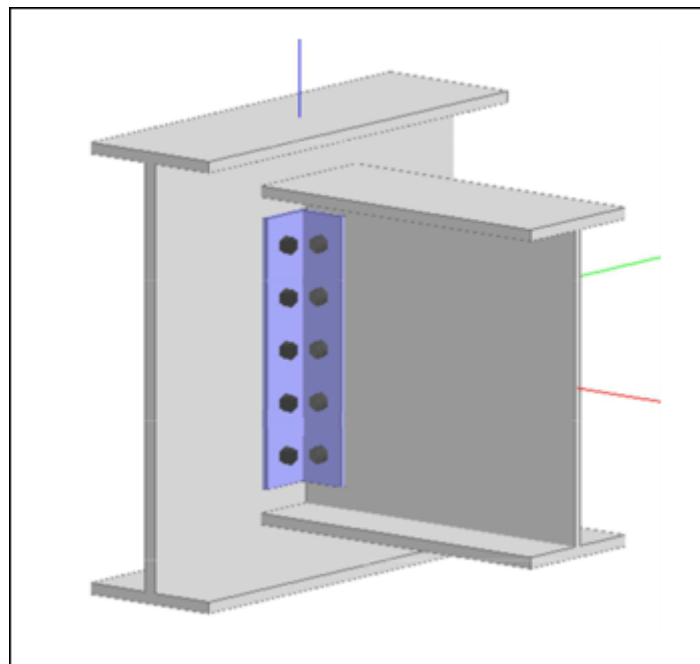
secondaria collegata alla principale tramite una cerniera ottenuta con squadrette angolari che collegano l'anima delle due travi. Si suppone che il collegamento avvenga tra due travi ad "I" o a "T".

(a) Schema in vista laterale

(b) Vista assonometrica in rendering

Figura 28.11 – Nodo cerniera per trave appoggiata

28.3 Importazione delle sollecitazioni

Effettuato il calcolo strutturale del modello e scelta la tipologia di nodo da verificare, al fine di importare, in maniera del tutto automatizzata, le sollecitazioni strutturali all'interno dell'applicativo per la verifica dei nodi in acciaio, occorre utilizzare una delle funzioni disponibili in File ▷ [Nodi

acciaio], § 16.5 a pagina 230 , differenziate in base al tipo di nodo che si vuole andare a verificare.

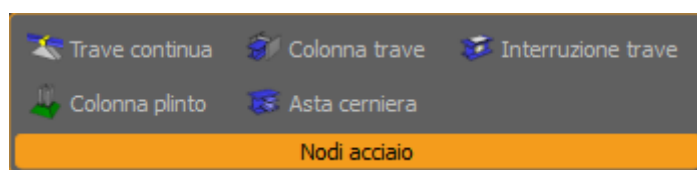



Figura 28.12 – La sezione, del menu File, relativa ai nodi in acciaio

Al lancio della generica funzione contenuta nella sezione di figura 28.12 si attiva la barra di controllo, vedi fig. 28.13, che consente la scelta del calcolo (eseguito) da cui trarre le sollecitazioni, che possono derivare dalle combinazioni (C1, C2, C3, ecc.) come *da scenario* di calcolo, ovvero dalle combinazioni sismiche (*combinate*) che tengono conto della risposta alle diverse componenti dell'azione sismica ed alla variabilità spaziale del moto (vedi § 7.3.5 delle [NTC, 2008]).

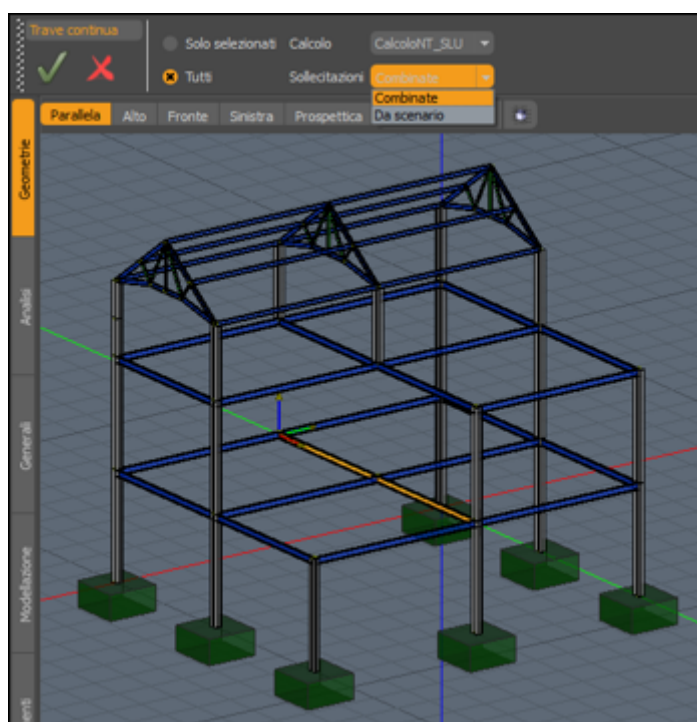



Figura 28.13 – Selezione preliminare degli elementi e barra di controllo

L'importazione delle sollecitazioni relative ad un assegnato nodo della struttura prevede che si effettuino, in via preliminare al lancio della generica funzione, delle operazioni di selezione, differenziate in base al tipo di nodo che si vuole andare a verificare.

All'interno dell'applicativo per la verifica dei nodi in acciaio **SteelNode**® (fig. 28.14 nella pagina seguente), la cui interfaccia viene visualizzata automaticamente dopo aver confermato su ✓, è possibile settare ex no-

vo il nodo, oppure modificarne uno esistente (preimpostato) disponibile nel menu *Esempi*.

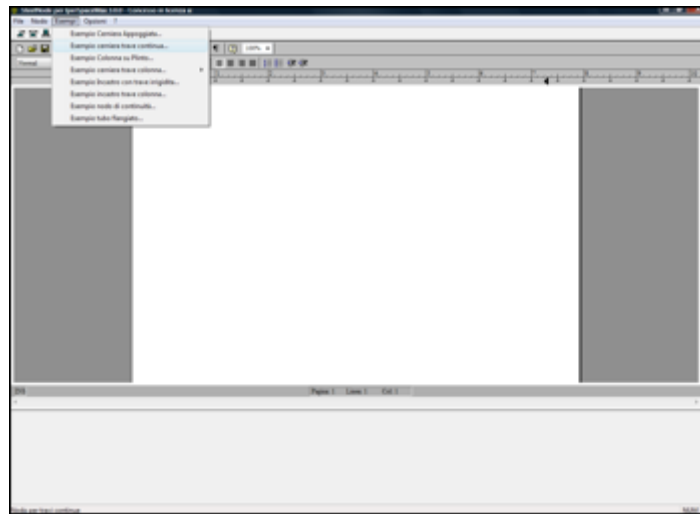



Figura 28.14 – Interfaccia grafica dell'ambiente **SteelNode**®

Attraverso il menu Nodo ▷ Caratteristiche , disponibile nell'interfaccia predisposta per la verifica di ciascun nodo (fig. 28.15), è possibile visualizzare e manipolare, per ogni combinazione, le sollecitazioni per le quali verrà eseguita la verifica del nodo, importate automaticamente dal modello strutturale (fig. 28.16 a fronte).

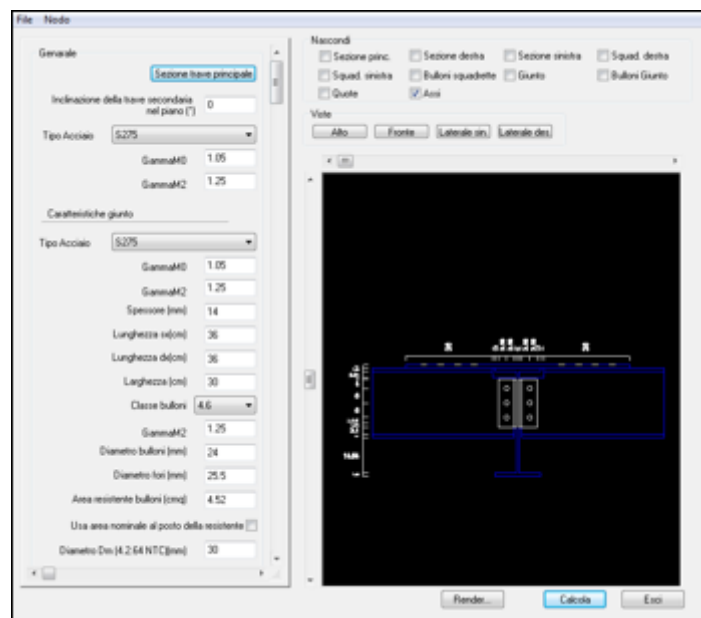



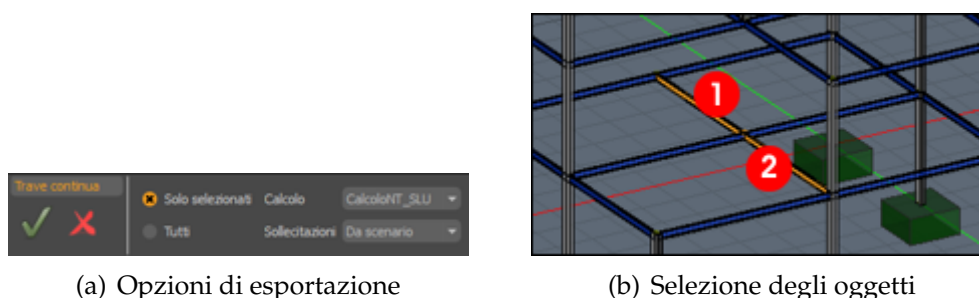
Figura 28.15 – Proprietà del nodo scelto per la verifica

Figura 28.16 – Sollecitazioni per il nodo selezionato

28.4 Operazioni di selezione per l'importazione

28.4.1 Trave continua

La funzione prevede che si selezionino le coppie di aste secondarie che si appoggiano sulla trave principale.

Attraverso il menu Nodo ▷ Caratteristiche , disponibile nell'interfaccia predisposta per il settaggio e la verifica del nodo acciaio, è possibile visualizzare le sollecitazioni considerate ai fini della verifica.

(a) Opzioni di esportazione

(b) Selezione degli oggetti

Figura 28.17 – Operazioni di selezione per trave continua

28.4.2 Colonna trave

La funzione prevede che si selezionino le travi collegate alle colonne.

Attraverso il menu Nodo ▷ Caratteristiche , disponibile nell'interfaccia predisposta per la verifica del nodo acciaio, è possibile scegliere le sollecitazioni relative ad uno o entrambi i nodi di estremità delle travi selezionate, da considerare ai fini della verifica.

(a) Opzioni di esportazione

(b) Selezione degli oggetti

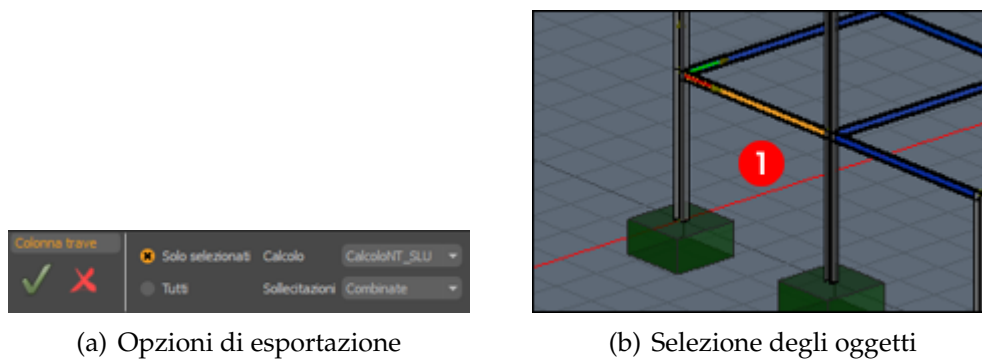



Figura 28.18 – Operazioni di selezione per colonna trave

28.4.3 Interruzione trave

La funzione prevede che si selezionino le travi interessate dal nodo di continuità.

Tali travi, nel modello strutturale, non devono essere necessariamente spezzate.

Al lancio della funzione si attiva la barra di controllo che, oltre ai settaggi descritti in precedenza, consente, mediante ascissa adimensionalizzata rispetto alla lunghezza della trave (*Punto di interruzione dell'asta*), la scelta della sezione corrispondente al nodo di continuità.

Attraverso il menu Nodo ▷ Caratteristiche , disponibile nell'interfaccia predisposta per il settaggio e la verifica del nodo acciaio, è possibile visualizzare le sollecitazioni in corrispondenza della sezione scelta, per ogni combinazione di carico, considerate ai fini della verifica.

(a) Opzioni di esportazione

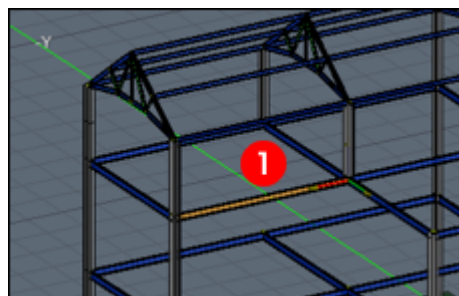
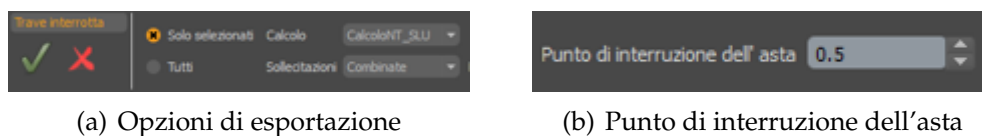
(b) Punto di interruzione dell'asta

(c) Selezione degli oggetti

Figura 28.19 – Operazioni di selezione per interruzione trave

28.4.4 Colonna plinto

La funzione prevede la selezione dei nodi colonna-plinto da verificare.

Attraverso il menu Nodo ▷ Caratteristiche , disponibile nell'interfaccia predisposta per la verifica del nodo acciaio, è possibile visualizzare le sollecitazioni in corrispondenza della sezione di estremità delle colonne che si agganciano ai nodi selezionati, per ogni combinazione di carico, utilizzate ai fini della verifica.

(a) Opzioni di esportazione

(b) Selezione degli oggetti

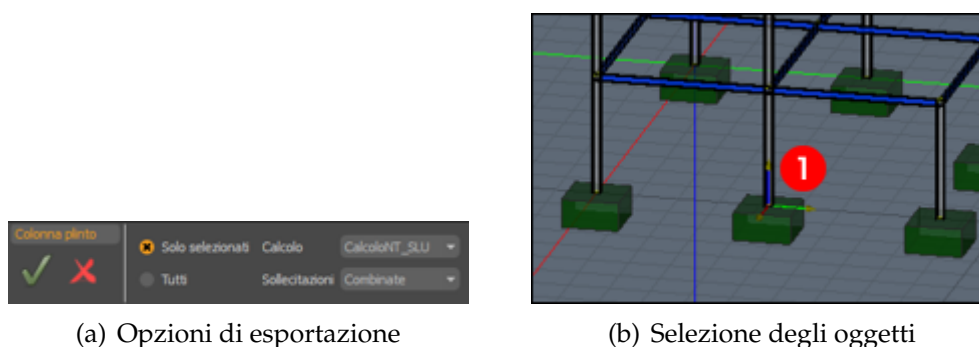



Figura 28.20 – Operazioni di selezione per colonna plinto

28.4.5 Asta cerniera

La funzione prevede che si selezionino le travi collegate ad una trave principale.

Attraverso il menu Nodo ▷ Caratteristiche , disponibile nell'interfaccia predisposta per la verifica del nodo acciaio, è possibile scegliere le sollecitazioni relative ad uno o entrambi i nodi di estremità delle travi selezionate, da considerare ai fini della verifica.

(a) Opzioni di esportazione

(b) Selezione degli oggetti

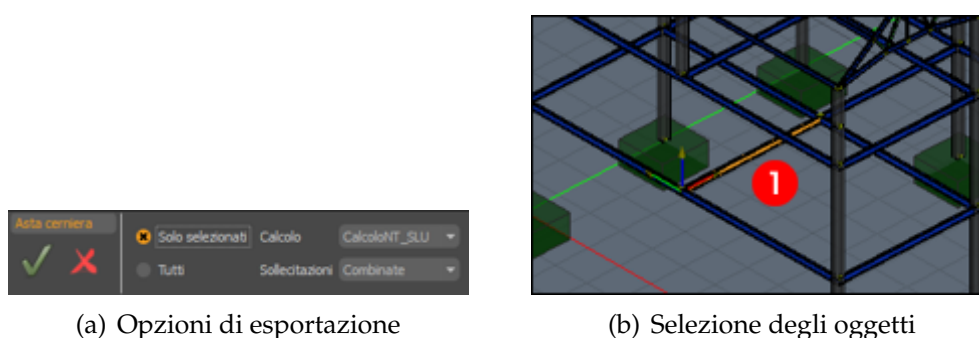



Figura 28.21 – Operazioni di selezione per asta cerniera

Parte IV

Appendici

A
Esercizi

A.1 Premessa

Questo capitolo è dedicato agli studenti universitari per consentire loro di sfruttare al meglio l'approccio *FEM* ai fini della risoluzione di esercizi di Scienza e/o Tecnica delle Costruzioni.

Ma questi esercizi risultano di una certa utilità anche ad alcuni ingegneri non più giovanissimi per far riaffiorare reminiscenze di studi a suo tempo effettuati che con il passare degli anni sono andati affievolendosi.

A.2 Vincoli esterni

Per vincoli esterni si intendono i vincoli della struttura con il suolo. Per caratterizzarli si può agire o sul nodo o sul nodo terminale dell'asta se il nodo viene considerato incastrato. Nel caso di vincoli particolari bisogna sostituire al vincolo un'asta fittizia vincolata ad incastro nel nodo iniziale e opportunamente sul nodo finale.

Per la cerniera semplice, l'incastro e il pendolo non è necessario introdurre aste fittizie, ma basta agire sul nodo iniziale dell'asta effettiva o su entrambi. Anche per il doppio pendolo non si introducono aste fittizie se la loro azione è diretta secondo un'asse del riferimento globale.

Si ribadisce che gli spostamenti dei nodi vanno considerati rispetto agli assi globali X, Y, Z mentre gli spostamenti degli estremi delle aste vanno considerati rispetto agli assi locali dell'asta x, y, z.

In tutti gli esercizi che seguono la struttura è stata predisposta nel piano globale (O,Z,Y).

In questo caso tutte le aste del piano hanno l'asse locale x diretto secondo l'asse dell'asta, l'asse y ortogonale al piano e l'asse z di conseguenza.

Di questo sistema di riferimento bisogna tenere conto per introdurre i vincoli delle aste.

A.2.1 Cerniera fissa

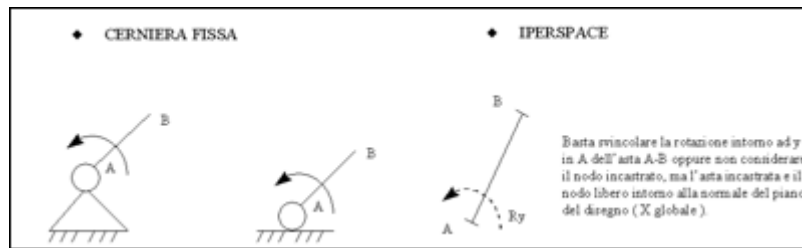



Figura A.1 – Vincolo esterno Cerniera fissa

Basta svincolare la rotazione intorno ad y in A dell'asta A-B oppure non considerare il nodo incastrato, ma l'asta incastrata e il nodo libero intorno alla normale del piano di disegno (asse X globale).

A.2.2 Carrello

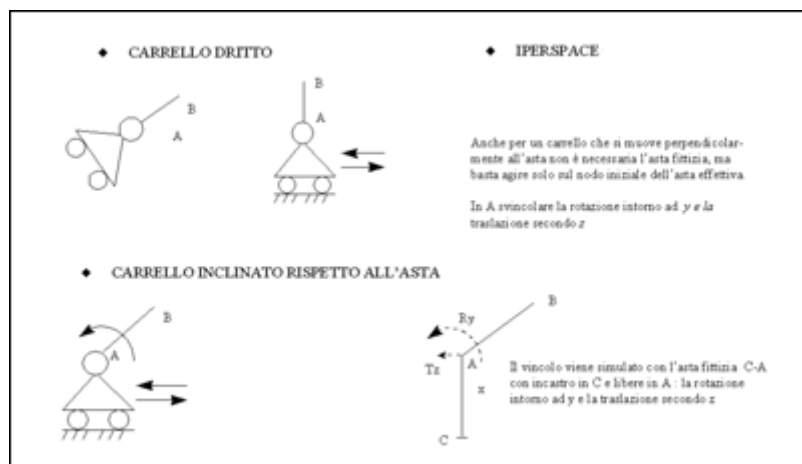



Figura A.2 – Vincolo esterno Carrello

Anche per un carrello che si muove perpendicolarmente all'asta non è necessaria l'asta fittizia, ma basta agire solo sul nodo iniziale dell'asta effettiva. In A svincolare la rotazione intorno ad y e la traslazione secondo z.

Nel caso di carrello inclinato rispetto all'asta, il vincolo viene simulato con l'asta fittizia C-A con incastro in C e libere in A la rotazione intorno a y e la traslazione rispetto a z.

A.2.3 Bi-pendolo

L'asta fittizia C-A è incastrata in C e trasla secondo z in A.

A.2.4 Doppio bi-pendolo

In B vi è un incastro, in A sono libere le traslazioni in x e z.

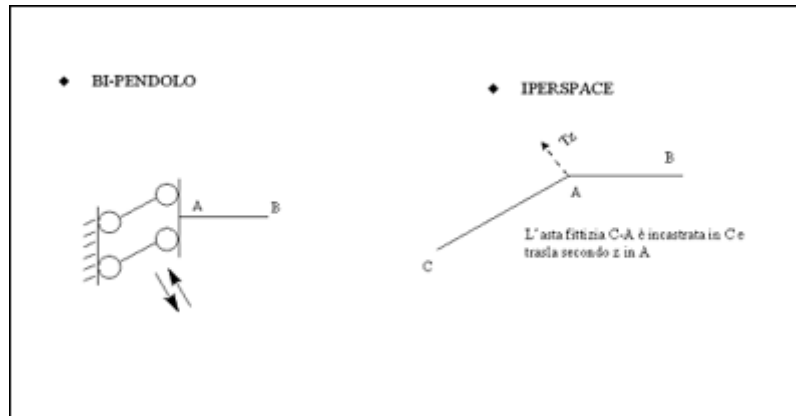



Figura A.3 – Vincolo esterno Bi-pendolo

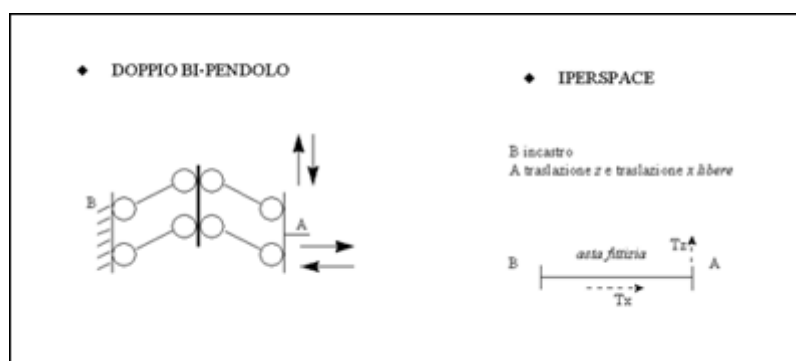



Figura A.4 – Vincolo esterno Doppio bi-pendolo

A.2.5 Pendolo

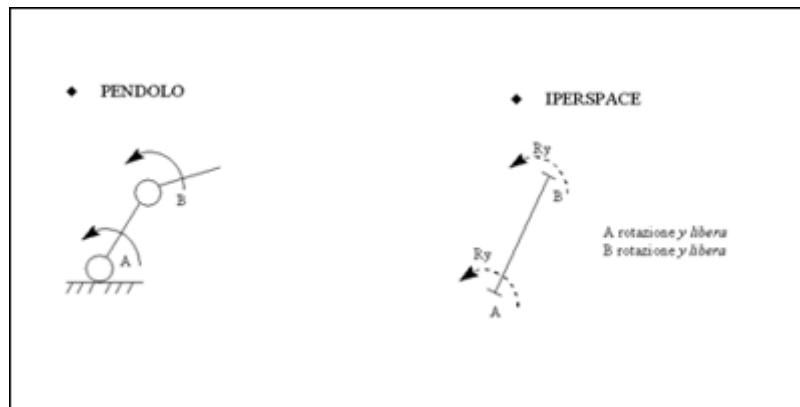



Figura A.5 – Vincolo esterno Pendolo

In A e B sono libere le rotazioni in y.

A.2.6 Incastro

Figura A.6 – Vincolo esterno Incastro

Va solo bloccato il nodo nel punto A.

A.3 Vincoli interni

I vincoli dei nodi vanno forniti rispetto agli assi globali di riferimento, mentre i vincoli interni delle aste vanno forniti rispetto agli assi locali delle aste.

Se la struttura bidimensionale viene posizionata nel piano globale (O,Z,Y) tutte le aste hanno l'asse locale x secondo il proprio asse, l'asse y ortogonale al piano di disegno e l'asse z ortogonale all'asta nel piano del disegno.

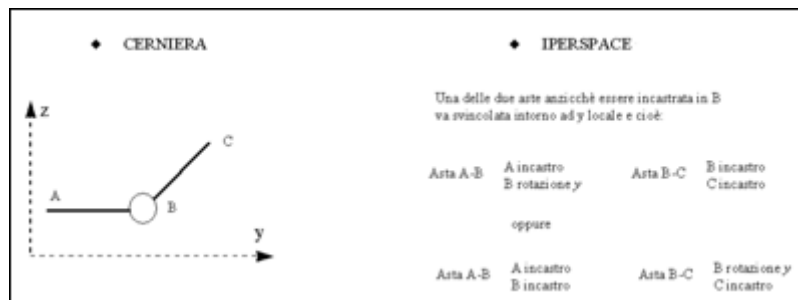



Figura A.7 – Vincolo interno Cerniera

A.3.1 Cerniera

Una delle due aste invece di essere incastrata in B va svincolata intorno ad y locale e cioè:

Asta A-B ⇒	A incastro B rotazione y	**Asta B-C** ⇒	B incastro C incastro

oppure

Asta A-B ⇒	A incastro B incastro	**Asta B-C** ⇒	B rotazione y C incastro

Le due aste A-B e B-C possono essere entrambe incernierate in B, ma in tal caso il nodo B sarebbe labile essendo libero di ruotare intorno a se stesso; per evitare ciò bisogna bloccare il nodo intorno all'asse globale perpendicolare al piano del disegno, cioè X.

In generale quando tutte le aste di una struttura piana che arrivano in un nodo sono incernierate dal lato del nodo, quest'ultimo va vincolato alla rotazione intorno all'asse ortogonale del piano della struttura; se invece tutte le aste, tranne una incastrata, sono incernierate non c'è bisogno di bloccare il nodo.

Negli esercizi che seguiranno si incontreranno entrambi i casi: tutte le aste confluenti nel nodo saranno incernierate e verrà bloccato il nodo oppure le aste saranno incernierate tranne una, che risulterà incastrata nel nodo, senza bisogno di bloccare quest'ultimo.

A.3.2 Bi-pendolo

Il vincolo viene simulato con due aste fittizie B-E e E-C di cui una opportunamente vincolata secondo lo schema di figura A.8 nella pagina successiva. L'asta E-C è incastrata in E e può traslare secondo z locale in C.

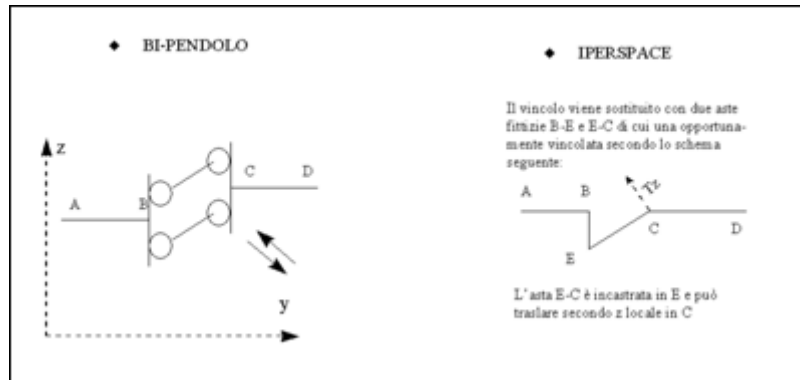



Figura A.8 – Vincolo interno Bi-pendolo

A.3.3 Doppio bi-pendolo

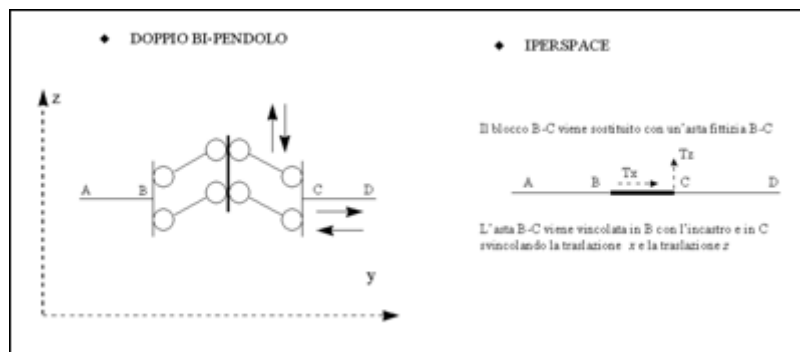



Figura A.9 – Vincolo interno Doppio bi-pendolo

Il blocco B-C viene sostituito con un'asta fittizia B-C (vedi fig. A.9). L'asta B-C viene vincolata in B con l'incastro e in C svincolando la traslazione in x e z.

A.4 Input con IperSpace Max

Le operazioni da eseguire per tutti gli esercizi sono le seguenti:

1. Eseguire **IperSpace MAX®**.
2. Eseguire Crea ⊳ [Maglia nodale], § 19.2.2 a pagina 267 . Attivare le colonne delle coordinate X, Z o Y, Z che individueranno il piano globale dove verranno posizionate le strutture degli esercizi. Si scelga il piano (O,Y,Z) operando, dunque, nella vista Destra.
3. Inserire le coordinate di tutti i nodi.
4. Inserire le aste con il comando Crea ⊳ [Trave], § 19.2.5 a pagina 272 fissando con due click successivi del mouse il nodo iniziale e finale.

5. Assegnare i vincoli dei nodi e delle aste agendo sul [Gestore delle proprietà], § 15.4.6 a pagina 173 dopo aver selezionato gli oggetti.

È possibile assegnare i vincoli direttamente ai nodi e alle aste selezionandoli uno per uno o a gruppi di oggetti a cui va assegnato lo stesso vincolo.

Volendo eseguire, per proprio conto, gli esercizi riportati di seguito è consigliabile caricare il prototipo apposito `C:\Soft.Lab\IperSpaceMax4\Esercizi\protoes.spc` *che, contenendo una serie di grandezze preimpostate, faciliterà il compito all'utente. È sempre possibile, inoltre, controllare i risultati ottenuti comparandoli con gli esercizi a corredo, disponibili in* `C:\Soft.Lab\IperSpaceMax4\Esercizi`.

A.4.1 Esercizio n. 1

Lo schema da verificare con il programma è riportato in figura A.10.

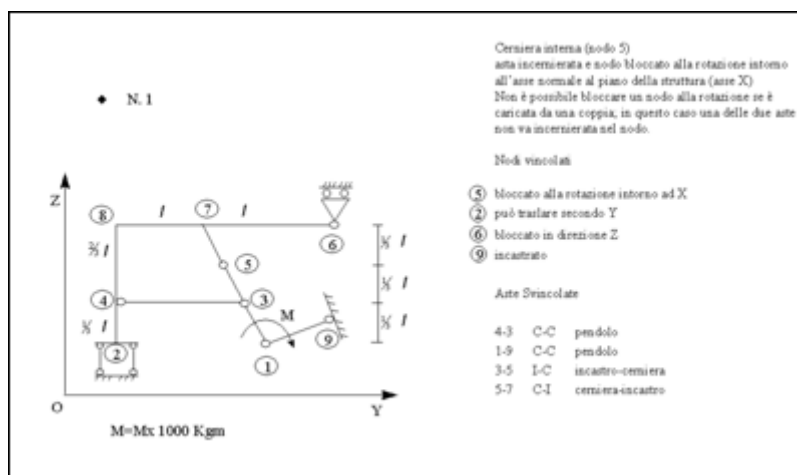



Figura A.10 – Schema simbolico della struttura dell'esercizio 1

Nella tabella A.1 sono riportate le coordinate dei nodi da inserire.

TABELLA A.1 – Coordinate dei nodi dell'esercizio 1

Nodo	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Y	9	0	8	0	7	12	6	0	11
Z	0	0	2	2	4	6	6	6	1

	Y	Z
1	9	0
2	0	0
3	8	2
4	0	2
5	7	4
6	12	6
7	6	6
8	0	6
9	11	1

Figura A.11 – L'inserimento dei nodi attraverso la maglia nodale

Le aste vanno inserite con il comando Crea ▷ [Trave], § 19.2.5 a pagina 272 puntando nel nodo iniziale e finale. All'asta 5-7 va assegnato il vincolo C-I se il nodo 5 è il nodo iniziale, altrimenti se il nodo 5 è quello finale, perché l'asta è stata inserita puntando prima nel nodo 7 e poi nel nodo 5, il vincolo da assegnare sarà I-C.

Se le operazioni di inserimento sono state effettuate correttamente lo schema a video sarà quello mostrato in figura A.12.

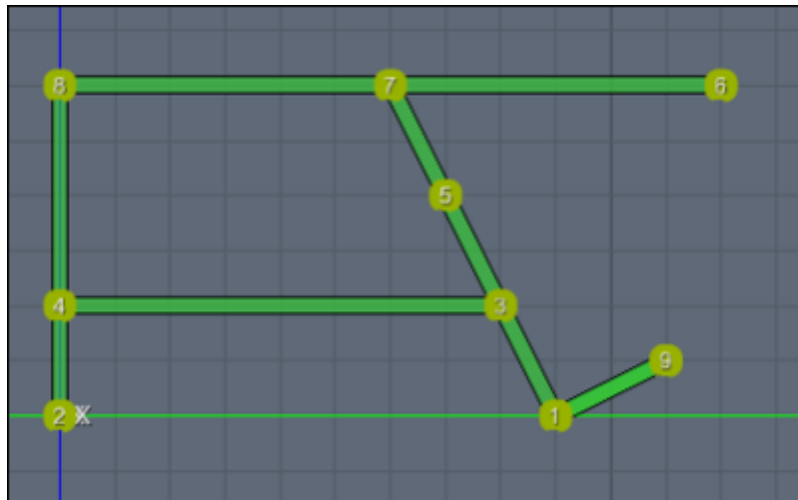



Figura A.12 – Schema, in **IperSpace MAX**®, della struttura dell'esercizio 1

Per fornire il carico (coppia M=1000 [Kgm]) al nodo 1 bisogna:

1. Creare una nuova Condizione di carico (vedi [Condizioni di carico], § 22.3.3 a pagina 340) fornendo una descrizione mnemonica, ad esempio "Coppia sul nodo 1".

2. Selezionare il nodo 1.

3. Con il comando Crea ⊳ [Nodi], § 19.5.1 a pagina 296 scegliere la condizione *Coppia sul nodo 1* e fornire il valore 1000 nella prima componente del campo M, come mostrato in figura A.13.

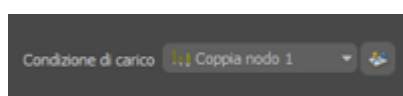
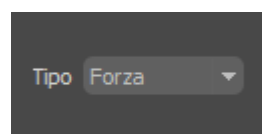
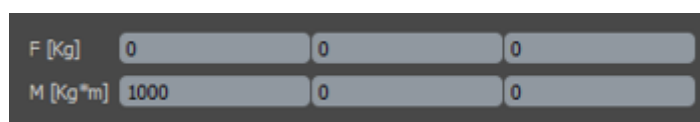
I carichi nei nodi si riferiscono sempre al riferimento globale.

(a) Selezione della condizione

(b) Scelta del tipo di carico

(c) Inserimento del carico

Figura A.13 – Inserimento della coppia nel nodo 1

Nella figura A.14 è visualizzata la coppia inserita nel nodo 1. Per la visualizzazione dei carichi si veda [Opzioni della vista], § 15.4.5.3 a pagina 167.

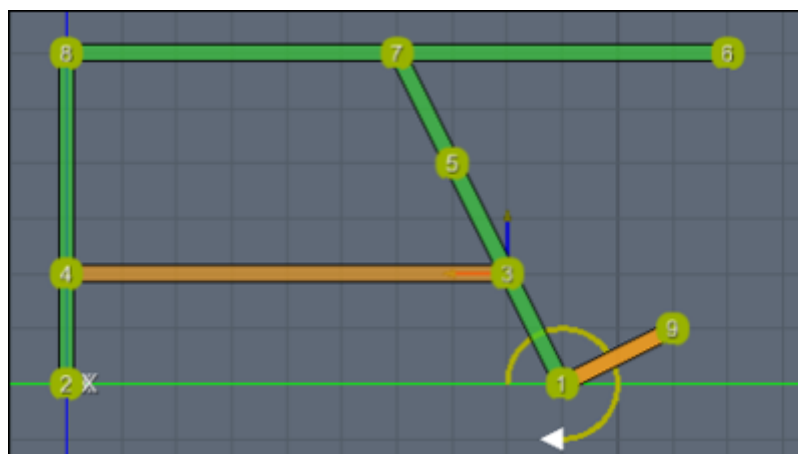



Figura A.14 – Visualizzazione del carico

Per vincolare i nodi, selezionare ognuno dei nodi da vincolare e nel Gestore delle proprietà modificare i valori secondo quanto riportato nella tabella A.2 nella pagina successiva.

Tabella A.2 – Vincoli dei nodi dell'esercizio 1

Nodo	Tx	Ty	Tz	Rx	Ry	Rz
2	1	0	1	1	1	1
5	0	0	0	1	0	0
6	0	0	1	0	0	0
9	1	1	1	1	1	1

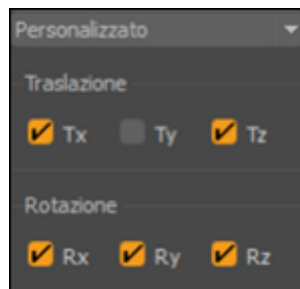



Figura A.15 – Configurazione vincolare del nodo 2

Nella figura A.15, ad esempio, è riportata la configurazione per il nodo 2.

Per i vincoli delle aste, selezionare solo le aste interessate agli svincoli e nel Gestore delle proprietà modificare i vincoli secondo quanto riportato nella tabella A.3.

Tabella A.3 – Vincoli delle aste dell'esercizio 1

Asta	Vincolo
4-3	C-C
1-9	C-C
3-5	I-C
5-7	C-I

Le aste 4-3 e 1-9 vengono selezionate insieme per assegnare lo stesso vincolo (C-C) come riportato in figura A.16 a fronte.

A questo punto è possibile salvare la struttura ed eseguire le operazioni di calcolo per passare successivamente all'esame delle sollecitazioni e spostamenti.

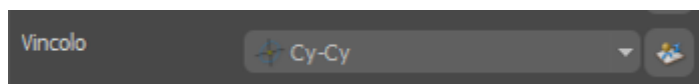



Figura A.16 – Configurazione vincolare delle aste 4-3 e 1-9

A.4.2 Esercizio n. 2

Lo schema da verificare con il programma è quello riportato in figura A.17.

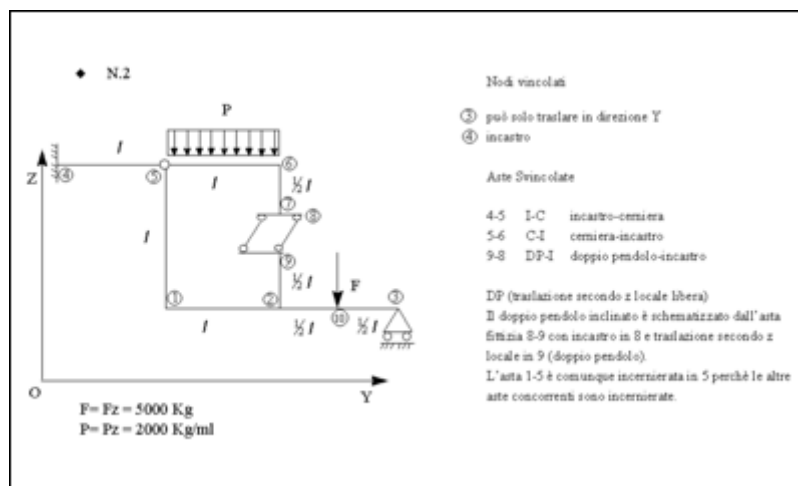



Figura A.17 – Schema simbolico della struttura dell'esercizio 2

I nodi da inserire sono riportati in tabella A.4.

Tabella A.4 – Coordinate dei nodi dell'esercizio 2

Nodo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Y	6	12	18	0	6	12	12	13	12	15
Z	6	6	6	12	12	12	9	9	7.5	6

Per l'inserimento delle aste si rimanda all'[Esercizio n. 1], § A.4.1 a pagina 531.

Se le operazioni di inserimento sono state effettuate correttamente lo schema a video sarà quello mostrato in figura A.18 nella pagina seguente.

Per vincolare i nodi, selezionare ognuno dei nodi da vincolare e nel Gestore delle proprietà modificare i valori secondo quanto riportato nella tabella A.5 nella pagina successiva.

Per i vincoli delle aste, selezionare solo le aste interessate agli svincoli e modificarli secondo quanto riportato nella seguente tabella:

Per fornire il carico distribuito *P* di 2000 [Kg/ml] e il carico concentrato *F* di 5000 [Kg] bisogna:

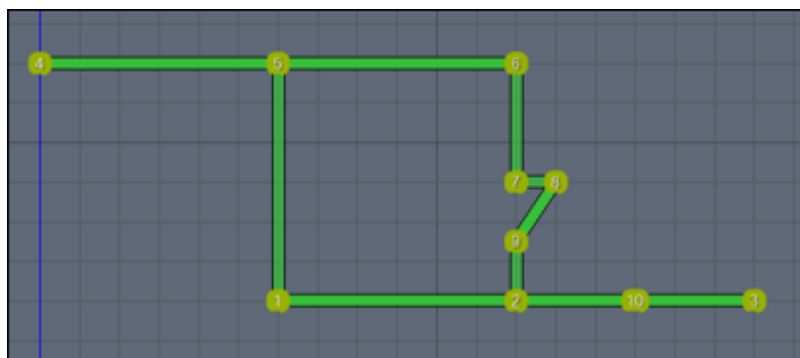



Figura A.18 – Schema, in **IperSpace MAX®**, della struttura dell'esercizio 2

Tabella A.5 – Vincoli dei nodi dell'esercizio 2

Nodo	Tx	Ty	Tz	Rx	Ry	Rz
3	1	0	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1

Tabella A.6 – Vincoli delle aste dell'esercizio 2

Asta	Vincolo
4-5	I-C
5-6	C-I
9-8	DP-I

1. Dalla libreria delle Condizioni di carico, eliminare le condizioni relative ai solai e aggiungere le due nuove:
   - Carico uniforme
   - Carico nodale
2. Selezionare l'asta 5-6
3. Eseguire il comando [Aste], § 19.5.2 a pagina 296
4. Selezionare la condizione *Carico uniforme* e scegliere come *Tipo* di carico Uniforme globale e assegnare il valore 2000 [Kg/ml] alla componente *Z*
5. Selezionare il nodo 10
6. Eseguire il comando [Nodi], § 19.5.1 a pagina 296
7. Selezionare la condizione *Carico nodale* e scegliere come *Tipo* di carico Forza e assegnare il valore 5000 [Kg] alla componente *Z*

I due carichi (uniforme e concentrato) possono essere applicati anche contemporaneamente sulla struttura; infatti nello scenario di calcolo potrebbe essere scelta una sola combinazione di carico selezionando i due carichi nella stessa combinazione. Sarebbe possibile eseguire il calcolo per tre combinazioni di carico:

- carico uniforme
- carico nodale
- entrambi

in questo modo è possibile analizzare i risultati per ogni carico e per entrambi.

Figura A.19 – Visualizzazione del carico

A.4.3 Esercizio n. 3

Lo schema da verificare con il programma è quello riportato in figura A.20.

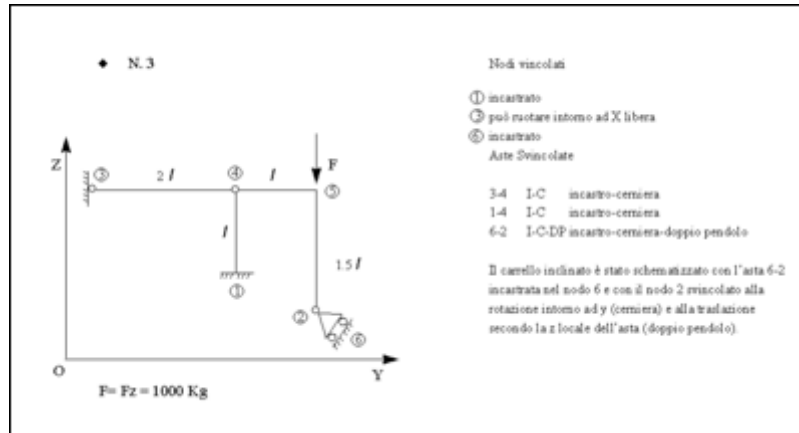



Figura A.20 – Schema simbolico della struttura dell'esercizio 3

I nodi da inserire sono riportati nella tabella A.7.

Tabella A.7 – Coordinate dei nodi dell'esercizio 3

Nodo	1	2	3	4	5	6
Y	6	9	0	6	9	10
Z	1.5	0	4.5	4.5	4.5	-1

Per l'inserimento delle aste si rimanda all'[Esercizio n. 1], § A.4.1 a pagina 531.

Se le operazioni di inserimento sono state effettuate correttamente lo schema a video sarà quello di figura A.21 nella pagina successiva.

Per vincolare i nodi, selezionare ognuno dei nodi da vincolare e impostare i vincoli secondo quanto riportato dalla tabella A.8.

Tabella A.8 – Vincoli dei nodi dell'esercizio 3

Nodo	Tx	Ty	Tz	Rx	Ry	Rz
1	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	0	1	1
6	1	1	1	1	1	1

Per i vincoli delle aste, selezionare solo le aste interessate agli svincoli e modificare gli stessi come riportato in tabella A.9 nella pagina successiva.

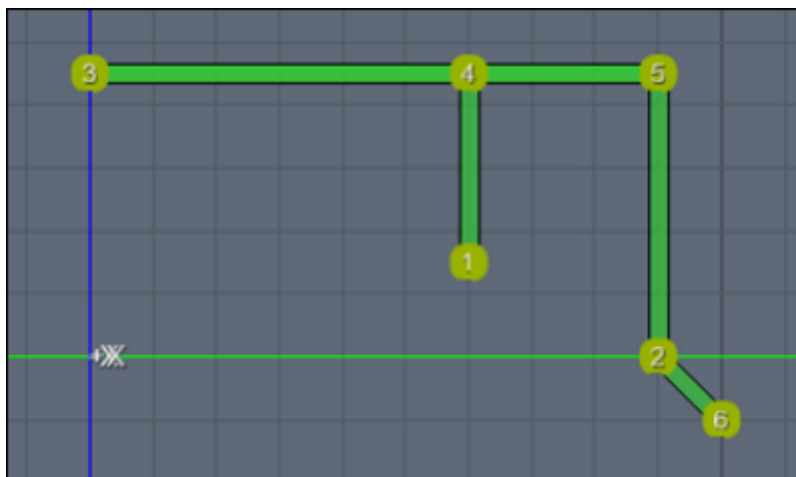



Figura A.21 – Schema, in **IperSpace MAX®**, della struttura dell'esercizio 3

Tabella A.9 – Vincoli delle aste dell'esercizio 3

Asta	Vincolo
3-4	I-C
1-4	I-C
2-6	I-C-DP

Per quanto riguarda i carichi si rimanda all'[Esercizio n. 1], § A.4.1 a pagina 531.

A.4.4 Esercizio n. 4

Lo schema da verificare è quello riportato in figura A.23 nella pagina successiva.

I nodi da inserire sono riportati nella tabella A.10.

Tabella A.10 – Coordinate dei nodi dell'esercizio 4

Nodo	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Y	4	8	0	4	8	4	8	12	10
Z	0	0	8	8	8	12	12	12	8

Per l'inserimento delle aste si rimanda all'[Esercizio n. 1], § A.4.1 a pagina 531.

Nella figura A.24 a pagina 541 è riportato lo schema in **IperSpace MAX®**.

Per vincolare i nodi fare riferimento alla tabella A.11.

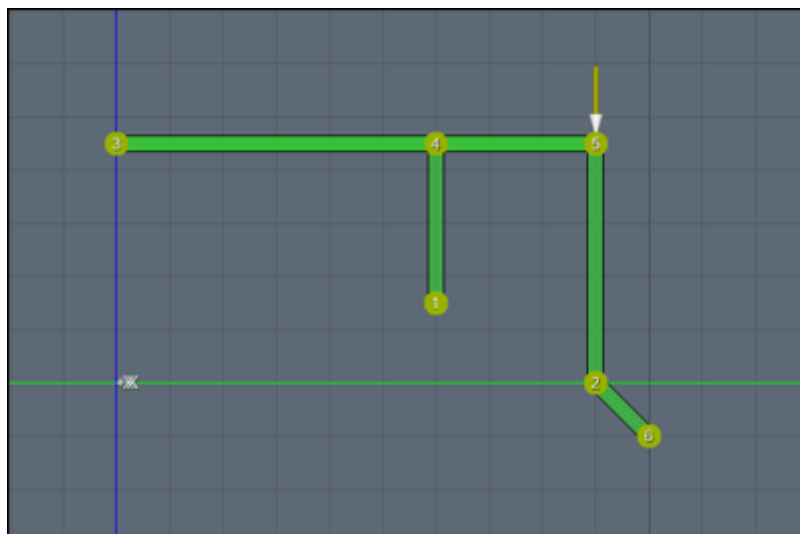



Figura A.22 – Visualizzazione del carico

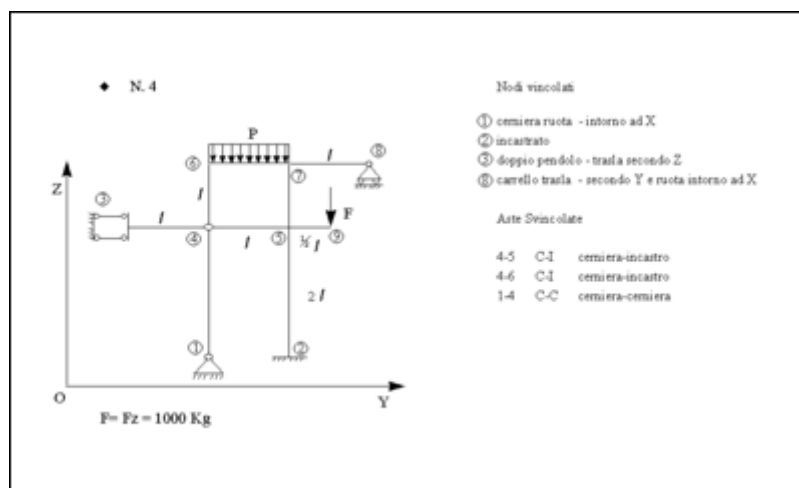



Figura A.23 – Schema simbolico della struttura dell'esercizio 4

Tabella A.11 – Vincoli dei nodi dell'esercizio 4

Nodo	Tx	Ty	Tz	Rx	Ry	Rz
1	1	1	1	0	1	1
2	1	1	1	1	1	1
3	1	1	0	1	1	1
8	1	0	1	0	1	1

Figura A.24 – Schema, in **IperSpace MAX®**, della struttura dell'esercizio 4

Per vincolare le aste agire secondo quanto riportato nella tabella A.12 nella pagina seguente.

Tabella A.12 – Vincoli delle aste dell'esercizio 4

Asta	Vincolo
4-5	C-I
4-6	C-I
1-4	C-C

Le aste 4-5 e 4-6 si selezionano contemporaneamente per assegnare lo stesso vincolo.

Per quanto concerne i carichi si rimanda all'[Esercizio n. 2], § A.4.2 a pagina 535.

A.4.5 Esercizio n. 5

Lo schema da verificare è quello riportato in figura A.26 nella pagina seguente.

I nodi da inserire sono riportati nella tabella A.13 a pagina 543.

Per l'inserimento delle aste si rimanda all'[Esercizio n. 1], § A.4.1 a pagina 531.

Se le operazioni di inserimento sono state effettuate correttamente lo schema a video sarà quello mostrato in figura A.27.

Per vincolare i nodi, selezionare ognuno dei nodi da vincolare e impostare come riportato nella tabella A.14.

Figura A.25 – Visualizzazione del carico

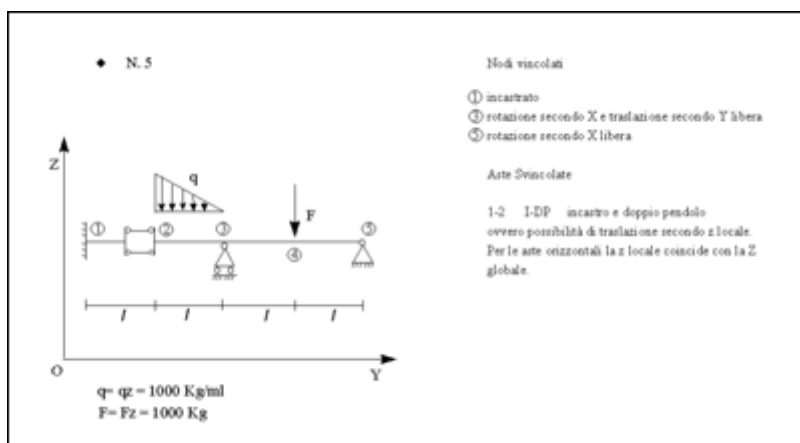



Figura A.26 – Schema simbolico della struttura dell'esercizio 5

Tabella A.13 – Coordinate dei nodi dell'esercizio 5

Nodo	1	2	3	4	5
Y	0	4	8	12	16
Z	1	1	1	1	1

Figura A.27 – Schema, in **IperSpace MAX®**, della struttura dell'esercizio 5

Tabella A.14 – Vincoli dei nodi dell'esercizio 5

Nodo	Tx	Ty	Tz	Rx	Ry	Rz
1	1	1	1	1	1	1
3	0	1	1	0	1	1
5	1	1	1	0	1	1

Per i vincoli delle aste fare riferimento alla tabella A.15 nella pagina successiva.

Tabella A.15 – Vincoli delle aste dell'esercizio 5

Asta	Vincolo
1-2	I-DP

Per quanto riguarda i carichi si rimanda all'[Esercizio n. 2], § A.4.2 a pagina 535; in questo caso però il carico distribuito è variabile e quindi, nella barra di controllo, si sceglierà come *Tipo* il valore Variabile globale fornendo per le ascisse *Xi* e *Xf* rispettivamente i valori 0 e 4 e per i carichi iniziali (*Fi*) e finali (*Ff*) rispettivamente i valori 1000 [Kg/ml] e 0, per la componente *Z*.

Figura A.28 – Visualizzazione del carico

Domande più ricorrenti

Indice

B.1 Installazione

B.1.1 Il setup non si avvia

Sui sistemi operativi **Windows Vista** e **7** è stato introdotto un sistema di sicurezza aggiuntivo sui privilegi dell'utente, denominato UAC (*User Access Control*) che effettua una scansione sui file eseguibili.

Il sistema UAC è attivo in modo predefinito sui sistemi operativi di cui sopra.

Ciò comporta una certa latenza sull'esecuzione dei file eseguibili, come il setup di **IperSpace Max**, che potrebbe essere interpretato come

un malfunzionamento della procedura di installazione o un difetto del supporto CD.

Per evitare tali problemi, conviene disabilitare l'UAC, soprattutto se si è amministratori del pc in uso. Per fare questo operare nel seguente modo:

1. Dal menu di Windows **Avvio (Start)** scegliere la voce **Pannello di controllo**
2. Cliccare sull'icona **Account utente**
3. Cliccare sulla voce **Attiva o disattiva Controllo account utente**
4. Confermare su **Consenti**
5. Disabilitare il controllo **Per proteggere il computer, utilizzare il controllo dell'account utente**
6. Riavviare il computer come da richiesta

B.2 Avvio

B.2.1 Problemi con Norton 2010

La versione **2010** di **Norton Internet Security** introduce un sistema di prevenzione, nei confronti di file potenzialmente dannosi, più invasivo delle precedenti versioni.

Dunque potrebbe accadere che, una volta installato **IperSpace Max 2**, al primo avvio possa essere cancellato l'eseguibile `IperSpace.exe`.

*Si tiene a precisare che il file in questione, come tutti i file appartenenti all'installazione di IperSpace Max 2, **è esente** da qualsiasi minaccia che possa interferire con l'integrità del sistema.*

L'errato (falso positivo) comportamento di **Norton Internet Security** è dovuto al fatto che il file non possiede abbastanza credenziali data la recente messa in circolazione dello stesso.

Eventualmente Norton avesse già cancellato il file `IperSpace.exe` l'avvio attraverso l'icona sul desktop, così come con la voce di menu **Avvio (Start)** ▷ **Tutti i programmi** ▷ **IperSpaceMax2** ▷ **IperSpaceMax 2**, causerebbe un errore per la mancanza del file di destinazione.

1° Caso: cancellazione già avvenuta

Qualora il file `IperSpace.exe` fosse già stato eliminato (posto in quarantena) da **Norton Sonar** eseguire i seguenti passi:

1. Aprire il pannello principale di **Norton Internet Security 2010**
2. Cliccare sulla voce **Quarantena** Comparirà il dialogo seguente:

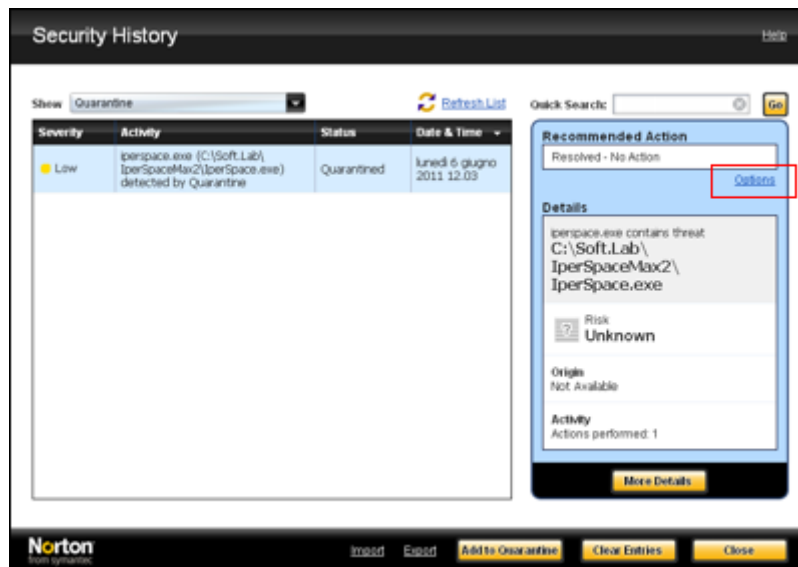



Figura B.1 – faqnorton4

3. Cliccare sulla voce **Opzioni** (evidenziata in rosso in figura) Si aprirà la seguente finestra:

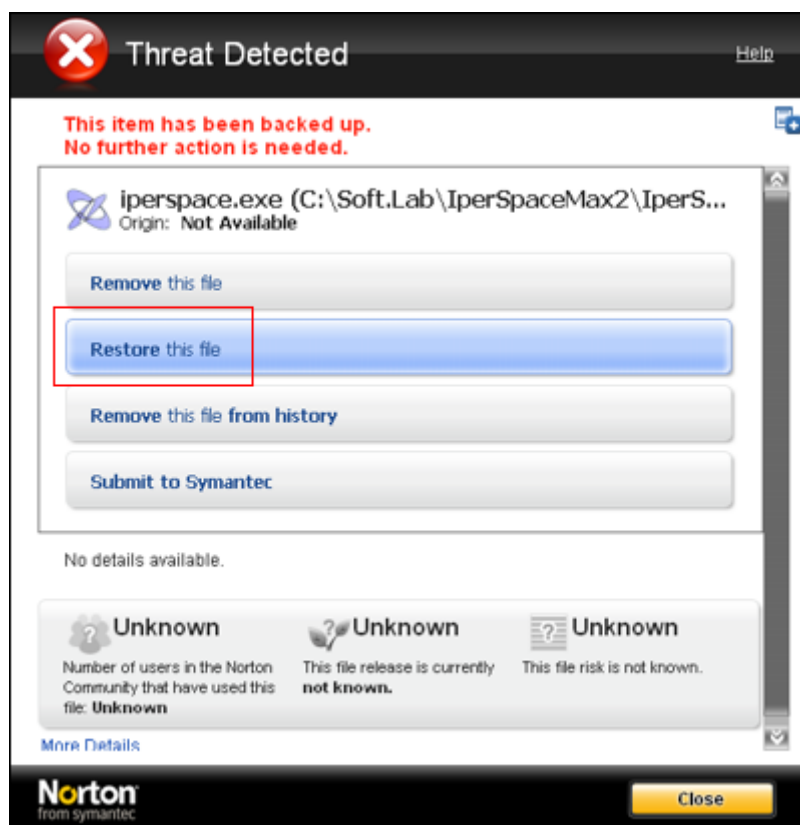



Figura B.2 – faqnorton5

4. Cliccare sul tasto **Ripristina questo file**

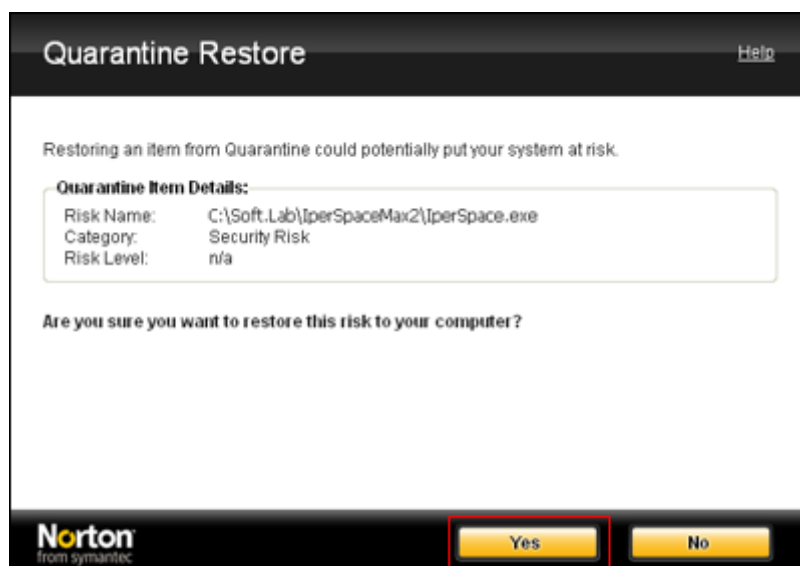



Figura B.3 – faqnorton6

5. Confermare cliccando sul tasto **Sì** Comparirà la finestra con l'esito dell'operazione.

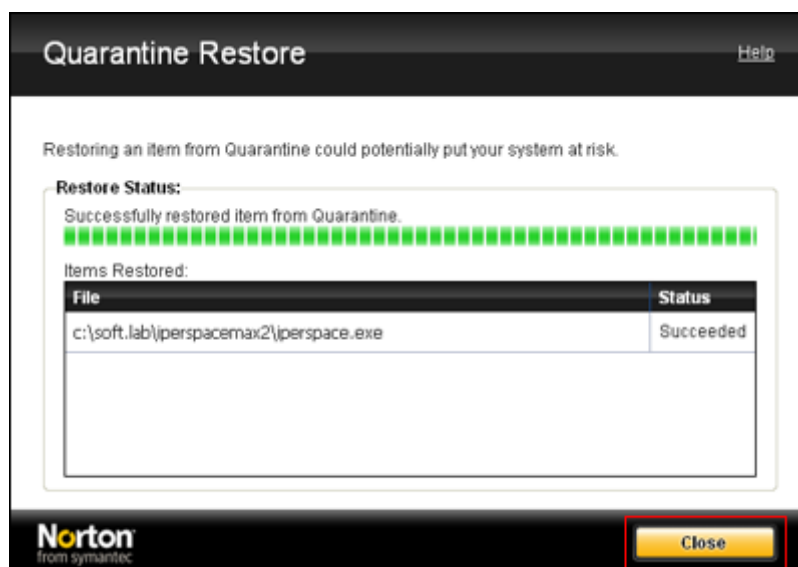



Figura B.4 – faqnorton7

6. Cliccare su **Chiudi** per terminare

2° Caso: cancellazione ancora non avvenuta
Se il file non è stato ancora cancellato da Norton si può prevenire il problema in questo modo:

1. **Prima** di lanciare **IperSpaceMax 2** portarsi nella sua cartella di installazione (`C:/Soft.Lab/IperSpaceMax2`)
2. Cercare il file `IperSpace.exe`
3. Cliccare con il tasto destro del mouse sul file
4. Scegliere la voce dal menu contestuale **Norton Internet Security** ▷ **Norton File Insight** come mostrato nella figura in basso

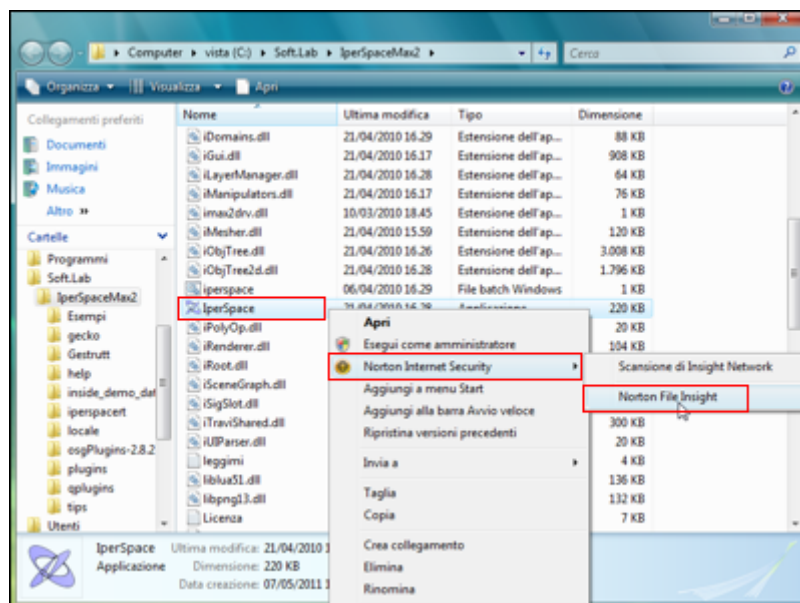



Figura B.5 – faqnorton1

Comparirà la finestra seguente:

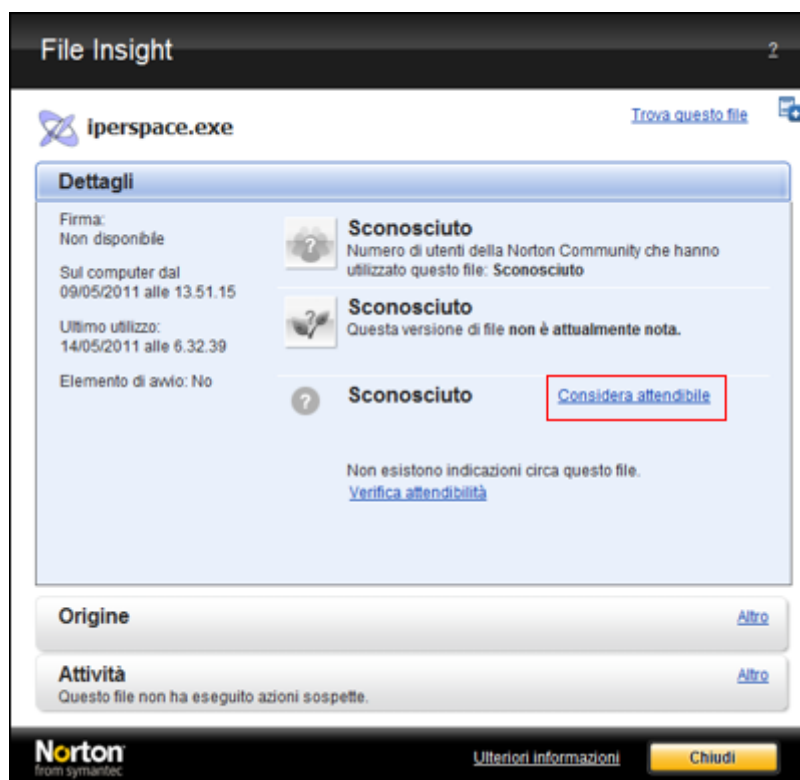



Figura B.6 – faqnorton2

5. Cliccare sul collegamento **Considera attendibile** L'icona e la voce corrispondente (Sconosciuto), si modificheranno nel modo riportato dalla figura seguente

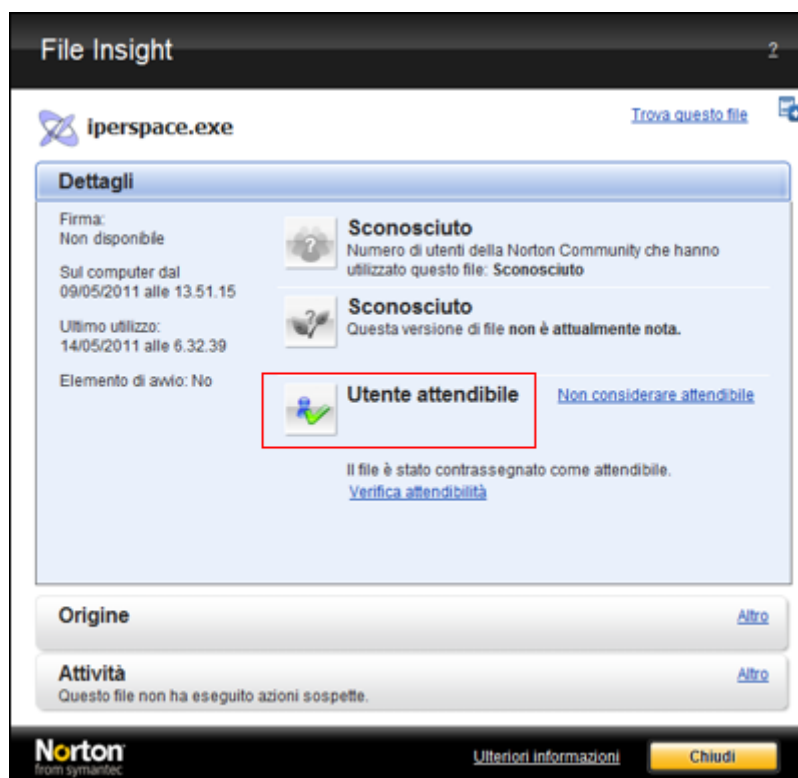



Figura B.7 – faqnorton3

6. Confermare cliccando sul pulsante **Chiudi**

A questo punto sarà possibile eseguire **IperSpace Max** senza problemi.

B.2.2 All'avvio del programma viene richiesto sempre il codice di autorizzazione

Per le versioni 1.x, sui sistemi Windows Vista (32 e 64 bits) è necessario, almeno al primo avvio, eseguire l'applicazione con tutti i diritti di amministrazione in modo da dare i permessi di scrittura ai file di configurazione.

1. Selezionare l'icona di avvio di **IperSpace Max**
2. Cliccare sul tasto destro del mouse
3. Selezionare, dal menu contestuale, la voce **Esegui come amministratore**
4. Inserire il codice di autorizzazione
5. Cliccare su **Autorizza**

Per i successivi avvii del programma operare normalmente con un doppio click sull'icona di avvio.

B.2.3 Non riconosce la chiave hardware (chiave hardware non trovata)

Se il problema si verifica su sistemi **Windows Vista** e **7** a **64 bits** è necessario procedere con l'installazione manuale dei drivers della chiave di protezione:

Per le versioni **IperSpace Max 1.x**:

1. Disconnettere la chiave di protezione dal PC
2. Eseguire il programma **Installazione manuale drivers** richiamabile dal menu di Windows **Avvio (Start)** ▷ **IperSpaceMax** ▷ **Gestione chiave hardware**
3. Portare a termine la procedura guidata
4. Inserire il dispositivo di protezione in una porta USB e attendere qualche secondo per il riconoscimento dello stesso da parte del sistema operativo
5. Eseguire **IperSpace Max** cliccando con il tasto destro del mouse sulla sua icona, sul desktop, scegliendo la voce **Esegui come amministratore** del menu contestuale
6. Inserire il codice di autorizzazione riportato sulla licenza e cliccare sul tasto **Autorizza**

nb: per i successivi avvii operare nel modo consueto con il doppio click del tasto sinistro del mouse sull'icona di IperSpace Max.

Per le versioni **IperSpace Max 2.x**:

1. Disconnettere la chiave di protezione dal PC
2. Eseguire il programma **Installazione manuale drivers** richiamabile dal menu di Windows **Avvio (Start)** ▷ **IperSpaceMax2** ▷ **Gestione chiave hardware**
3. Portare a termine la procedura guidata
4. Inserire il dispositivo di protezione in una porta USB e attendere qualche secondo per il riconoscimento dello stesso da parte del sistema operativo
5. Eseguire **IperSpace Max** cliccando con il doppio click del tasto sinistro del mouse sulla sua icona, sul desktop
6. Inserire il codice di autorizzazione riportato sulla licenza e cliccare sul tasto **Autorizza**

Nel caso il problema si presenti su sistemi operativi sui quali era stata installata una versione precedente di IperSpace (per la precisione IperSpace 7.5.x) è necessario eliminare il file `skeydrv.dll`

1. Attraverso il gestore delle risorse entrare nella directory `c:/windows`(*)
2. Entrare nella sottodirectory `System32`
3. Cercare il file `skeydrv.dll`
4. Selezionarlo ed eliminarlo
5. Eseguire **IperSpace Max**

(*) nei sistemi operativi **Windows 2000** tale directory assume il nome **winnt**

B.2.4 Impossibile trovare l'ordinale 536 nella libreria di collegamento dinamico ter32.dll

Questo tipo di messaggio si verifica se un altro programma, installato sul computer, fa uso della stessa libreria (`ter32.dll`) adoperata da **IperSpace Max**.

Il problema è dovuto alle errate procedure di installazione di tali software che copiano la libreria in oggetto su directory di sistema come `System32`.

Ciò induce il sistema operativo a prediligere questo file rispetto a quello locale, installato nella directory di lavoro di IperSpace, che potrebbe essere non compatibile.

Per ovviare in modo drastico:

1. Entrare nella directory `c:/windows/system32`
2. Cercare il file `ter32.dll`
3. Eliminare o rinominare il file
4. Eseguire **IperSpace**

Questa operazione potrebbe provocare malfunzionamenti dei software responsabili della installazione del file in tale directory.

Sarebbe opportuno contattare le case software che installano in maniera impropria il file e comunicare il problema.

B.3 Plugins

B.3.1 Come si installa il plugin per Auto_CA

Figura B.8 – Auto_CA

La versione **2** di **IperSpace Max** permette l'esportazione delle carpenterie nell'ambiente **AutoCAD®** (o **AutoCAD LT®**) attraverso il plugin **Auto_CA for Soft.Lab** messo a punto dalla società **SE.TE.C**.

I clienti **Soft.Lab**, in possesso di **IperSpace Max 2**, possono scaricare ed utilizzare il plugin **Auto_CA for Soft.Lab**, **gratuitamente**, previa registrazione, dal sito: http://softlab.auto-ca.it/

Allo stesso indirizzo, inoltre, sono previste offerte esclusive, riservate ai clienti **Soft.Lab**, per moduli aggiuntivi realizzati da **SE.TE.C**.

Una volta registrati sul sito http://softlab.auto-ca.it/ e scaricato il plugin:

1. Lanciare il setup di installazione (scegliendo il tipo di protezione **Chiave USB**)
2. Lanciare **AutoCAD®** (o **AutoCAD LT®**)
3. Eseguire il comando **+autoca** sulla riga di comando del cad
4. Dal nuovo menu a tendina **Auto_C.A. for Soft.Lab** apparso in alto a destra, selezionare la voce **Menu Auto_C.A.**
5. Inserire nel dialogo di attivazione i dati, **Nome utente** e **Password**, utilizzati durante la registrazione sul sito (http://softlab.auto-ca.it/), e il **Codice assistenza Soft.Lab** costituito dai primi 16 caratteri del codice di attivazione a corredo della licenza di **IperSpace Max 2** (senza il carattere di separazione tra i due blocchi da 8).

***Auto_CA for Soft.Lab** è compatibile con le versioni di **AutoCAD®** (o **AutoCAD LT®**) dalla **2006** alla **2010**.*

Per esportare una carpenteria da **IperSpace Max** eseguire la voce di menu **File** ▷ **Esporta** ▷ **Auto_CA**.

Per importare il file esportato nell'ambiente **Auto_CA for Soft.Lab** fare riferimento alle guide e ai tutorial, molto esaustivi, disponibili sul sito http://softlab.auto-ca.it/.

B.4 Chiave di rete

B.4.1 Errore di autorizzazione degli applicativi

Nel caso di licenze di rete, con la modifica di indirizzo ip del computer server, potrebbe verificarsi il mancato riconoscimento del codice di autorizzazione di alcuni applicativi (come IperWall).

Procedere come segue:

1. Raggiungere il controllo per il comando diretto da **Avvio (Start)**
2. Inserire nella casella di esecuzione (o di ricerca per i sistemi Vista e 7) il comando **regedit** e battere su **Invio** Si aprirà la finestra **Editor del Registro di sistema**
3. Aprire, nel navigatore sulla sinistra, il nodo `HKEY\_LOCAL\_MACHINE`
4. Espandere il nodo `SOFTWARE`
5. Espandere a sua volta il nodo **Soft.Lab**
6. Individuare la cartella dell'applicativo (ad esempio **IperWall**)
7. Cliccare con il tasto destro e scegliere la voce **Elimina**
8. Confermare

B.5 Esporta fondazione

B.5.1 IperSpace Max non genera il file .spc della fondazione

In alcuni casi, e solo sui sistemi operativi **Windows Vista** e **Seven**, potrebbe verificarsi la mancata generazione del file `Fondazione.spc` nella cartella `NomeStruttura.fon`, a seguito della procedura **Esporta fondazione**.

Ciò dipende da problematiche legate al sistema di permessi sulle cartelle, del sistema operativo.

In particolare accertarsi che:

1. La destinazione non si trovi su LAN o in postazioni remote in generale
2. Il disco, o partizione, di destinazione non abbia il serizio di **Indicizzazione** disattivato.

Nel primo caso spostare il file di struttura .spc in una cartella sul computer locale, eseguire il calcolo e successivamente la procedura di esportazione fondazione. Nel secondo caso, da **Risorse del Computer**, selezionare il disco di destinazione e attraverso il tasto destro del mouse

scegliere la voce di menu **Proprietà**. Nel pannello **Generale** assicurarsi di avere attivo il controllo **Indicizza unità per una ricerca rapida dei file**.

Novità delle versioni

C.1 Novità della versione 4.0.0

1. Visualizzazione a video dei vincoli, materiale, sezione, e indice per gli elementi strutturali (vedi [Informazioni], § 15.4.5.3.5 a pagina 171).

2. Visualizzazione a video degli indici dei pannelli dei muri (vedi punto 1).

3. Creazione dei piani di lavoro per ogni piano con possibilità di eseguire il box automaticamente alle varie quote (vedi [Navigazione impalcati], § 15.4.5.5 a pagina 173).

4. Visualizzazione della struttura in modalità solida ombreggiata, o in trasparenza, in modo da visualizzare meglio i vari oggetti (vedi [Solido], § 15.4.5.3.2 a pagina 169).

5. Visualizzazione della struttura a mezzo di linee solide (vedi punto 4).

6. Possibilità di armare le travi e i pilastri in maniera diretta e personalizzata senza un calcolo preventivo ottenendo aste armate (vedi [Armatura], § 19.3.1 a pagina 282).

7. Possibilità di importare elementi di librerie da qualunque altro file strutturale oltre che dai file di prototipo (vedi [Elementi], § 16.2.1.1 a pagina 188).

8. Introduzione del "Crash recovery" per il recupero della struttura corrente a seguito di una chiusura imprevista del programma.

9. Reintrodotto il supporto per le multilicenze su rete, attraverso il sistema proprietario "NetLock Server 3".

10. Possibilità di verificare le aste armate di strutture esistenti (vedi capitolo [Verifica di edifici esistenti in cls], § 27 a pagina 485 del tutorial).

11. Verifiche dei Nodi CLS secondo le formule 7.4.8 e 7.4.10 per gli elementi esistenti.

12. Possibilità di amplificare mediante coefficienti definiti dall'utente le sollecitazioni di più gruppi della struttura associando per ogni gruppo il relativo coefficiente.

13. Possibilità di verificare sezioni composte (acciaio-calcestruzzo, legno-calcestruzzo, calcestruzzo-FRP o con più di due materiali definiti dall'utente).

14. Introdotti diversi stili per l'interfaccia grafica (vedi [Interfaccia grafica], § 20.1.2.3 a pagina 301).

15. Aggiunta, nel menu "Strumenti", la possibilità di gestire delle opzioni globali come colore di sfondo, grandezza del nodo, ecc. (vedi [Opzioni], § 20.1.2 a pagina 300)

16. Correzioni varie.

17. Modulo PushOver 3.0.0

    17.1 Possibilità di passare alla PushOver le aste armate per la verifica non lineare.

    17.2 Possibilità di eseguire un'analisi PushOver a 360° ottenendo una sorta di dominio di resistenza della struttura.

    17.3 Possibilità di conoscere dopo un'analisi PushOver gli elementi vicini alla crisi, per ogni stato limite, in modo da poter eseguire gli opportuni rinforzi.

Bibliografia

BALDACCI, R. F. (1955-56), «Sull'integrazione diretta del problema di Saint-Venant in termini di tensioni», *Atti Accad. Scienze Torino*, (90), p. 604–610.

BALDACCI, R. F. (1957), «Soluzione generale diretta del problema di Saint-Venant», *Giorn. Genio Civile*, (95), p. 759–765.

CIRCOLARE_617_NTC (2009), «Istruzioni per l'applicazione delle Nuove norme tecniche per le costruzioni di cui al DM 14 gennaio 2008», Pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n. 47 del 26 febbraio 2009.

CNR_10011-85 (1985), «Costruzioni in acciaio: istruzioni per il calcolo, l'esecuzione, il collaudo e la manutenzione», .

CNR_DT_206 (2007), «Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo delle Strutture di Legno», ROMA, CNR 28 novembre 2007, rev. 7 ottobre 2008.

DM96 (1996), «Decreto Ministeriale 16 Gennaio 1996», Suppl. ord. alla Gazzetta Ufficiale n. 29 del 5 febbraio 1996.

EN_1995-1-1:2004 (2004), «Eurocode 5, Design of timber structures. Part 1-1: General - Common rules and rules for buildings», CEN, European Comnittee for Standardization.

FILIPPOU, F. C., POPOV, E. P. e BERTERO, V. V. (1983), «Modeling of RC joints under cyclic excitations», *Journal of Structural Engineering*, vol. 109 (11).

FIORENZA, R. e GRECO, D. (1986), *Lezioni di analisi matematica*, vol. 2, Liguori Editore.

FRAGIADAKIS, M., LAGAROS, N. D. e PAPADRAKAKIS, M. (2006), «Performance-based multiobjective optimum design of steel structures considering life-cycle cost», *Structural and Multidisciplinary Optimization*, vol. 32, p. 1–11.

Franciosi, V. (1969), *Scienza delle costruzioni*, vol. 2, Liguori Editore.

Giangreco, E. (1982), *Teoria e tecnica delle costruzioni*, vol. 1, Liguori Editore.

Gruttmann, F. e Wagner, W. (2001), «Shear correction factors in Timoshenko's beam theory for arbitrary shaped cross-sections», *Computational Mechanics*, vol. 27, p. 199–207.

Mander, J. B., Priestley, M. J. N. e Park, R. (1988), «Observed Stress-Strain Behavior of Confined Concrete», *Journal of Structural Engineering*, vol. 114 (8), p. 1827–1849.

Martínez-Rueda, J. e Elnashai, A. (1997), «Confined concrete model under cyclic load», *Materials and Structures*, vol. 30, p. 139–147.

Menegotto, M. e Pinto, P. E. (1973), «Method of analysis for cyclically loaded R.C. plane frames including changes in geometry and non-elastic behaviour of elements under combined normal force and bending», in «IABSE reports of the working commissions», vol. 13, p. 15–22, IABSE.

NTC (2008), «Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni», Pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n. 29 del 4 febbraio 2008.

OPCM3274 (2003), «Ordinanza 3274 del Presidente del Consiglio dei Ministri 20 Marzo 2003», Suppl. ord. alla Gazzetta Ufficiale n. 105 del 8 maggio 2003.

OPCM3431 (2005), «Ordinanza 3431 del Presidente del Consiglio dei Ministri 3 Maggio 2005», Pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n. 107 del 10 maggio 2005.

Priestley, M. J. N., Seible, F. e Calvi, G. M. (1996), *Seismic Design and Retrofit of Bridges*, Wiley-Interscience.

Indice analitico

U

V